



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

Statická analýza variant visuté mostní konstrukce

STATIC ANALYSIS OF SUSPENSION BRIDGE VARIANTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAELA ZAVŘELOVÁ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Michaela Zavřelová
Název	Statická analýza variant visuté mostní konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I

Kadlčák J. : Statika nosných lan visutých střeš

Manuály k systému RFEM

Základní normy:

ČSN 736201 Projektování mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2 Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je statická analýza různých variant geometrie visutého mostu. Pro jednotlivé varianty budou vytvořeny odpovídající modely konstrukce ve vybraném programovém systému. Získané výsledky budou vzájemně porovnány.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT:

Bakalářská práce se zabývá statickou analýzou jednotlivých modelů visutých lávek pro pěší. Byl vypracován ruční výpočet nosného lana. Pomocí výpočtu byla určena skutečná poloha nosného lana. Ruční výpočet byl následně porovnán s výpočtovým programem RFEM. Dále byly modely zatěžovány ručně spočítanými zatíženími. V bakalářské práci je zpracován vliv odklonu pylonů na globální deformace nosného lana a mostovky při jednotlivých zatěžovacích stavech a kombinacích. U jednoho z modelů je zpracována optimalizace konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Nosné lano, visutá lávka, betonový segment, závěs, pylon, tvar lana, model, deformace, RFEM, optimalizace, odklon pylonů, zatížení, metoda konečných prvků, konstrukce

ABSTRACT:

The bachelor's thesis deals with the static analysis of individual models of suspension footbridges. A manual calculation of the cable was processed. The actual position of the cable was determined by calculation. The manual calculation was compared with the RFEM calculation program. Furthermore, the models were loaded with manually calculated loads. The bachelor's thesis deals with the influence of pylon deflection on the global deformations of cable and bridge deck during individual load cases and combinations. For one of the models, the optimization of construction was processed.

KEYWORDS:

Cables, suspension footbridge, concrete segment, suspension cable, pylon, shape of cable, model, deformation, RFEM, optimalization, diversion of pylons, load, finite element method, construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Michaela Zavřelová *Statická analýza variant visuté mostní konstrukce*. Brno, 2021. 59 s., 14 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky.
Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Statická analýza variant visuté mostní konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28.5.2021

.....
podpis autora
Michaela Zavřelová

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Statická analýza variant visuté mostní konstrukce* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28.5.2021

.....
podpis autora
Michaela Zavřelová

PODĚKOVÁNÍ:

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zbyňku Vlkovi, Ph.D. za jeho věnovaný čas při konzultacích, odborné vedení, užitečné rady a především za jeho vstřícný přístup a ochotu.

V neposlední řadě poděkování patří mé rodině a blízkým, kteří mě celou dobu, a zejména v posledních náročných týdnech, podporovali a důvěřovali mi.

Obsah

1	Úvod	11
2	Teoretická část	12
2.1	Visuté mosty	12
2.2	Nosné lano	13
2.2.1	Rovinný vláknový polygon	13
2.2.2	Rovinná řetězovka	14
2.3	Metoda konečných prvků	15
3	Počáteční návrh geometrie lana	15
3.1	Materiály a průřezy	15
3.2	Mostovka	16
3.2.1	Rovná	16
3.2.2	Parabolická	16
3.3	Popis variant	17
3.3.1	Model č. 1, 5	17
3.3.2	Model č. 2, 6	18
3.3.3	Model č. 3, 7	18
3.3.4	Model č. 4, 8	18
4	Nosné lano	19
4.1	Zatížení – vlastní tíha	19
4.2	Výpočet polohy lana pro modelování	20
4.2.1	Rovná mostovka	20
4.2.2	Parabolická mostovka	23
5	Modelování	24
5.1	Varianty	24
5.1.1	Model č. 1,5	24
5.1.2	Model č. 2, 6	25
5.1.3	Model č. 3, 7	25
5.1.4	Model č. 4,8	25
5.2	Okrajové podmínky	26
5.3	Excentricity	26
5.4	Vazby	26
5.5	Nosné lano	26
6	Porovnání výsledků ručního výpočtu s programem	27
7	Zatížení	28

7.1	Proměnné zatížení.....	28
7.1.1	Vítr	28
7.1.2	Sníh	31
7.1.3	Námraza	31
7.1.4	Teplota.....	31
7.1.5	Chodci.....	33
7.1.6	Obslužné vozidlo.....	33
7.1.7	Vodorovné zatížení.....	33
7.2	Zatěžovací stavy	34
8	Kombinace.....	36
9	Výsledky – porovnání variant	37
9.1	Zatěžovací stav – vlastní tíha	37
9.2	Kombinace jednotlivých zatěžovacích stavů	39
9.2.1	Vlastní tíha + teplota	40
9.2.2	Vlastní tíha + vítr.....	42
9.2.3	Vlastní tíha + chodci 1	43
9.2.4	Vlastní tíha + davový účinek	45
9.2.5	Vlastní tíha + servisní vozidlo	47
10	Optimalizace.....	48
10.1	Vliv ZS na nosné lano.....	49
10.2	Vliv ZS na mostovku.....	50
10.3	Kombinace	50
11	Závěr	53
12	Seznam použitých zdrojů.....	55
13	Seznam obrázků:	56
14	Seznam tabulek:	58
15	Seznam grafů	59
16	Seznam příloh.....	60

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je porovnání statických analýz variant visutých mostních konstrukcí. Pro účely práce byly navrženy, v 1. fázi, 4 základní modely visutých lávek pro pěší, které se vzájemně liší v odklonu pylonů. Základem je svislý pylon a následně jsou odklony prováděny postupně o 10° . Každý z modelů je vytvořen ve 2 obměnách mostovek – rovná a parabolická. Parabolická mostovka má vzepětí 1 m. Žádný z návrhů není realizován.

Celá práce je soustředěna především na zhodnocení, jak jednotlivé varianty ovlivní nosné lano a mostovku. Konstrukční systém visutých mostů a lávek umožňuje pomocí nosného lano překonávat velká rozpětí, proto je navržena délka $L = 120,0$ m

Výpočty proběhnou v programu RFEM, který se zabývá statickou analýzou na základě metody konečných prvků. Ve zmíněném výpočtovém softwaru budou vytvářeny modely lávek, které budou následně zatěžovány totožných zatěžovacími stavy.

Pro ověření, zda výsledky z programu jsou reálné, bude uskutečněn ruční výpočet nosného lana, který zároveň určí počáteční polohu lana pro modelování. Ověření proběhne na základě porovnání výsledných sil v nejzákladnějším modelu č. 1 – svislý pylon a rovná mostovka.

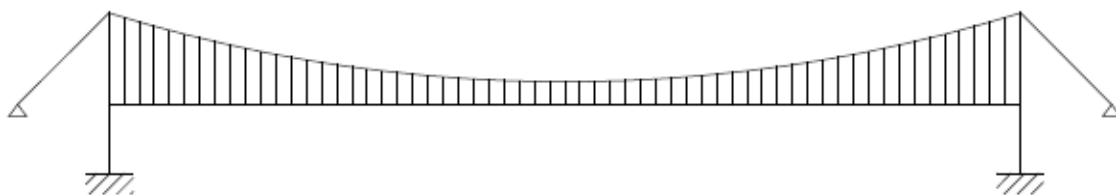
Pro podrobnější zpracování byl vybrán model č. 1, který bude rozšířen o optimalizaci tvaru lana, kde budou vzniklé deformace z programu RFEM minimalizovány a opakovaně laděny s ručními výpočty.

V závěru práce se zhodnotí jednotlivé varianty z hlediska globálních deformací konstrukce.

2 Teoretická část

2.1 Visuté mosty

Visuté mosty a lávky jsou typy mostů, jejichž konstrukční systém je založen na nosném laně. Typicky se využívají pro velká rozpětí, nebo v územích, kde není možné, či je obtížné, umístit pilíře (hluboká rozsáhlá údolí, vodní plochy). Konstrukce fungují na principu, že zatížení, které působí na mostovku, se přeneso přes závěsy (svislá lana) do nosného lana, odkud se přenáší přes pylony do kotevních bloků. Visuté mosty jsou jedny z nejstarších, které vznikaly. V dnešní době se u těchto typů konstrukcí klade důraz především na architektonickou podobu, která se ztvárňuje pomocí pylonů.



Obrázek 1: Schéma visutého mostu

Nejnámějším visutým mostem na světě je Golden Gate Bridge (San Francisco – Kalifornie)



Obrázek 2: Golden Gate Bridge [12]

Jednou z nejzajímavějších konstrukcí v ČR je 252 metrů dlouhá Visutá lávka na Vranovské přehradě z roku 1993, která v minulých letech prošla rekonstrukcí.

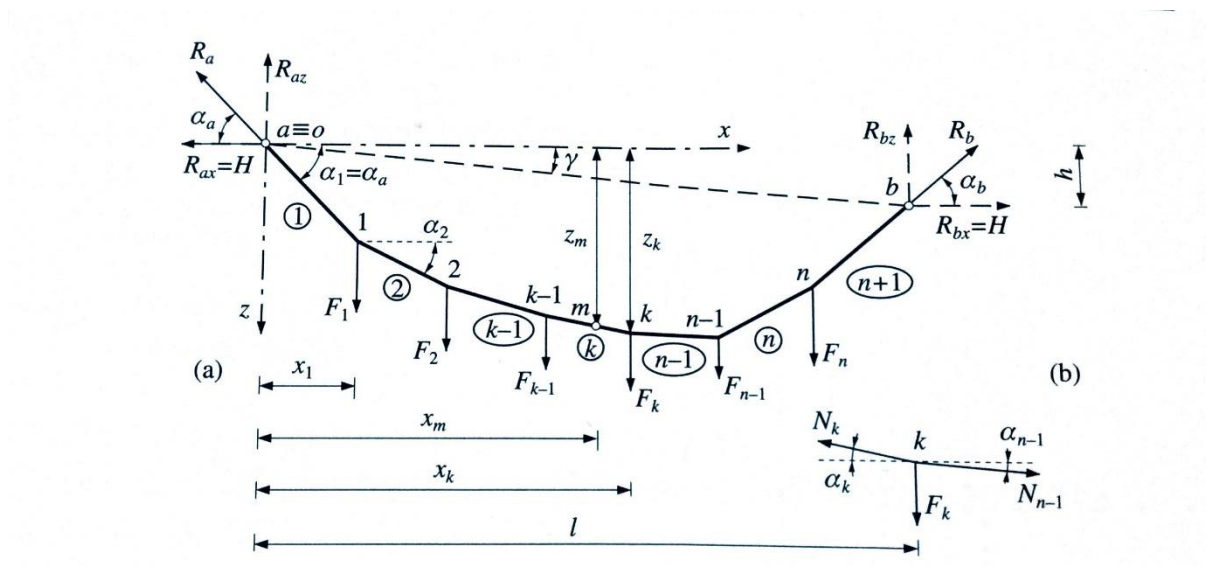


Obrázek 3: Visutá lávka u Vranovské přehrady [13]

2.2 Nosné lano

V praxi se často vyskytují konstrukce, kde je jako základní nosný element použito nosné lano. Lano může mít jedno, nebo více polí, které mají podobu soustavy lan. Protože ze statického hlediska má nosné lano zanedbatelnou tuhost v ohybu, můžeme mluvit o „dokonale ohebném vlákně“, takže uvažujeme s nehmotným, neprodloužitelným lanem, které má v každém průřezu ohybový moment roven $M=0$. Z toho plyne, že lano přenáší pouze tahové síly. Jeho výsledný geometrický tvar je ovlivněn působícím zatížením. V kapitole 2.2 se čerpá z [2].

2.2.1 Rovinný vláknový polygon



Obrázek 4: Rovinný vláknový polygon

Vyšetřujeme rovinné vlákno, které máme zavěšené na 2 neposuvných kloubech a, b a zatížené svislými silami F_n . Celá soustava sil působí v jedné rovině. Následně se rovinné vlákno napne a ustálí

v nové poloze ve tvaru mnohoúhelníku o $n+1$ stranách. Nově vytvořený tvar nazýváme rovinný vláknový polygon.

V případě, že známe uzly a, b a polohu jednotlivých sil F_n , máme k dispozici souřadnice X ve vrcholech polygonu. Můžeme tedy sestavit nekonečnou řadu rovinných vláknových polygonů. Abychom dostali přesný tvar polygonu, je nutné doplnit do výpočtu alespoň jednu z následujících statických nebo geometrických veličin.

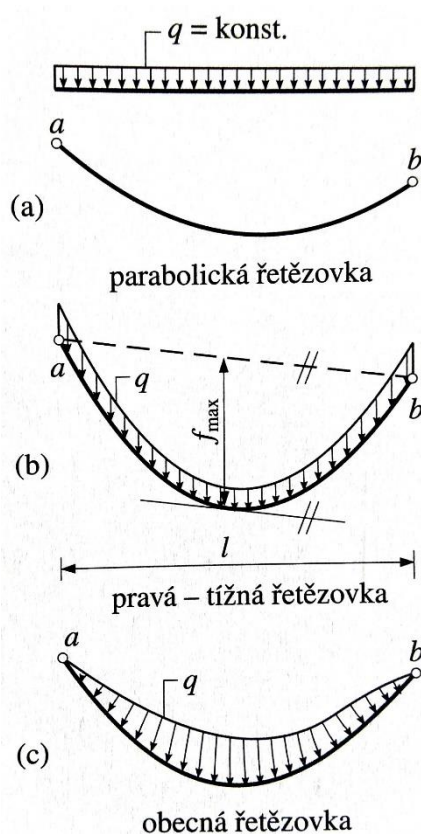
- Průvěs vlákna v bodě m
- Velikost reakce v jednom z bodů a, b , kterou můžeme realizovat závažím
- Směr reakce v jednom z bodů a, b
- Délku s_i jakékoliv strany polygonu
- Celkovou délku polygonu L

Rovinný vláknový polygon je staticky určitá konstrukce.

2.2.2 Rovinná řetězovka

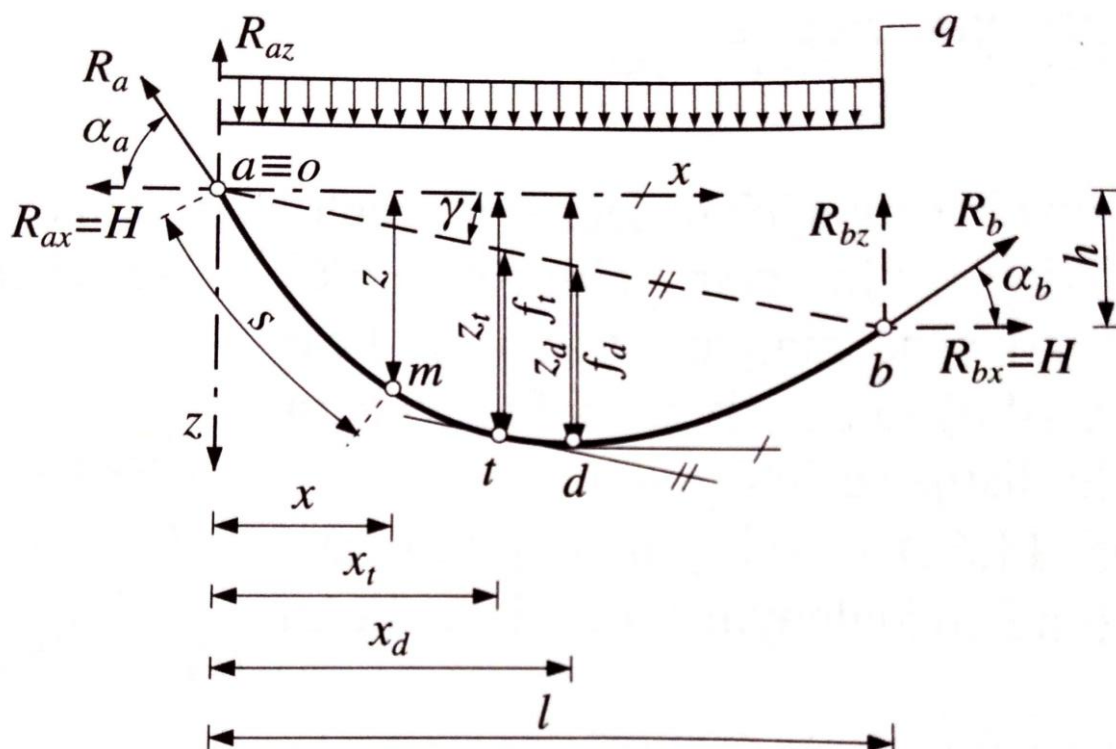
Vlákno zavěšené na uzlech a, b , které zatížíme rovnoměrným spojitým zatížením q .

- Parabolická
- Pravá – tížná
- Obecná



Obrázek 5: Řetězovky

Pro výpočet této práce byla zvolena parabolická řetězovka, jejíž statické řešení je shodné s postupem řešení pro rovinný vláknový polygon. Základní vztahy vyjádříme neznámou vodorovnou silou H . Složky reakcí R_a , R_b určíme z podmínek rovnováhy.



Obrázek 6: Schéma parabolické řetězovky

2.3 Metoda konečných prvků

[14] Metoda konečných prvků je momentálně nejrozšířenější numerická metoda umožňující řešení prutových, plošných i prostorových konstrukcí. Pomocí této metody řešíme následující problémy:

- a) Lineární analýza konstrukcí
- b) Nelineární analýza konstrukcí
- c) Hydraulika
- d) Analýza prostupu a vedení tepla

Proces řešení metodou konečných prvků spočívá v idealizaci konstrukce, sestavení podmínek rovnováhy, následném řešení rovnic a výsledků. Výpočet je založen na rovnici metody konečných prvků ve tvaru:

$$[K] * \{r\} = \{F\}$$

3 Počáteční návrh geometrie lana

3.1 Materiály a průřezy

Lávka je tvořena mostovkou z betonového segmentu ($L=120,000$ m, výška 400 mm; šířka 4 000 mm, třída betonu C30/37). Betonový segment je podepírán I-profilů (IPE 500, ocel S 235), které jsou rozmístěny po 2,000 m v délce 6,000 m. Do podporových I-profilů je zakotveno celkem 59 závěsů na každé straně - celkem tedy 118 závěsů na jedné lávce. Závěsy jsou kruhové o průměru 200 mm z oceli S235. Nosné lano je navrženo s průměrem 400 mm (pevnost 1570 MPa). Pylony i příčné výztuhy jsou z betonu C40/50. Pylony mají délku 21,300 m a průměr kruhu 1 000 mm. Příčné výztuhy jsou vytvořeny též kruhového tvaru o průměru 600 mm. Mostovka je propojena ve výšce pylonu 7,300 m nad terénem.

3.2 Mostovka

3.2.1 Rovná

První variantou u každého odklonu pylonů je rovná mostovka, která je modelována jako přímá polylinie. Všechny body na mostovce mají stejnou z-tovou souřadnici ($z = 15,0$ m).

3.2.2 Parabolická

Druhou variantou je zvolena parabolická mostovka se vzepětím $1,0$ m v $L = 60,0$ m.

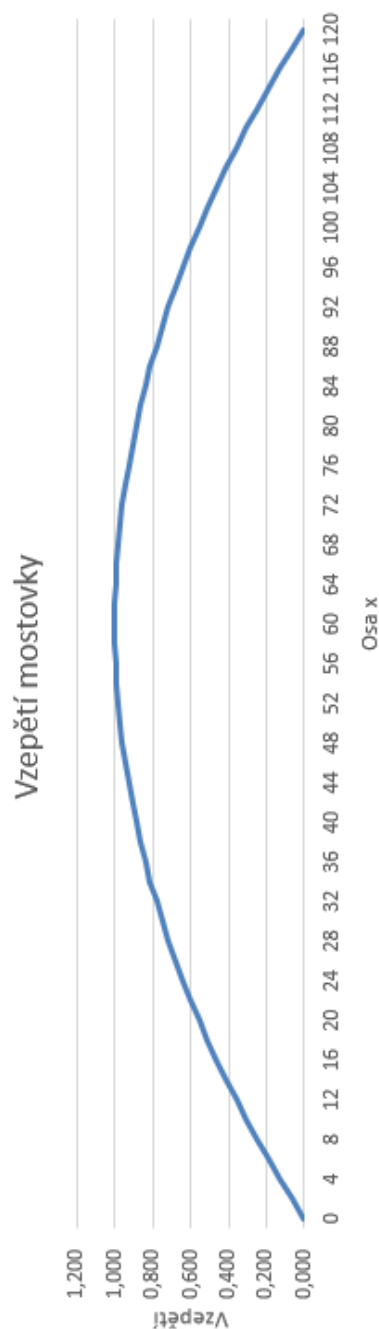
X-ová souřadnice [m]	Pomocné body [m]	Vzepětí [m]	Z-tová souřadnice [m]
0	-60	0,000	-15,000
2	-58	0,066	-14,934
4	-56	0,129	-14,871
6	-54	0,190	-14,810
8	-52	0,249	-14,751
10	-50	0,306	-14,694
12	-48	0,360	-14,640
14	-46	0,412	-14,588
16	-44	0,462	-14,538
18	-42	0,510	-14,490
20	-40	0,556	-14,444
22	-38	0,599	-14,401
24	-36	0,640	-14,360
26	-34	0,679	-14,321
28	-32	0,716	-14,284
30	-30	0,750	-14,250
32	-28	0,782	-14,218
34	-26	0,812	-14,188
36	-24	0,840	-14,160
38	-22	0,866	-14,134
40	-20	0,889	-14,111
42	-18	0,910	-14,090
44	-16	0,929	-14,071
46	-14	0,946	-14,054
48	-12	0,960	-14,040
50	-10	0,972	-14,028
52	-8	0,982	-14,018
54	-6	0,990	-14,010
56	-4	0,996	-14,004
58	-2	0,999	-14,001
60	0	1,000	-14,000

Tabulka 1: Vzepětí mostovky

Parabola je popsána rovnicí : $k = \frac{y-y_0}{(x-x_0)^2}$

→

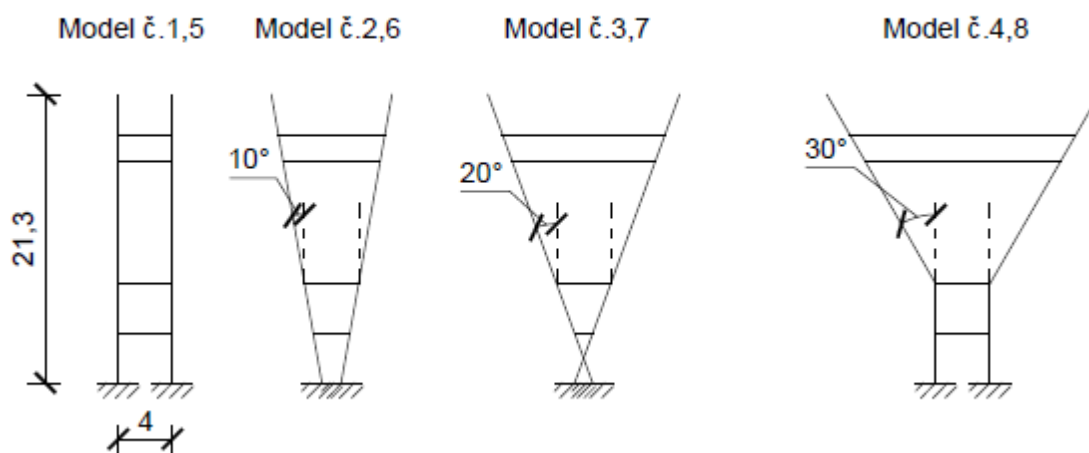
$$y = k * (x - x_0)^2 + y_0$$



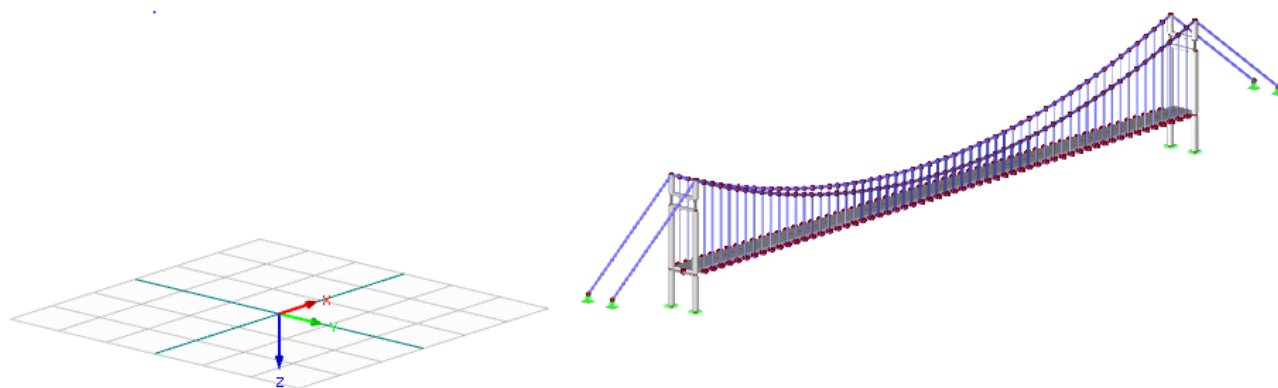
Graf 1: Vzepětí mostovky

3.3 Popis variant

Jednotlivé varianty se od sebe liší v odklonu hlavních pylonů v rozmezí úhlů 0-30°. Odklony jsou provedeny po 10° vně v příčném směru. Každá varianta natočení pylonu je navržena ve dvou variantách mostovek. Celkem je tedy pro porovnání modelováno 8 variant modelů.



Obrázek 7: Schéma jednotlivých modelů v příčném směru

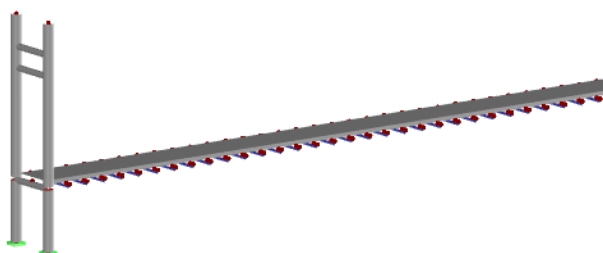


Obrázek 8: souřadnicový systém

3.3.1 Model č. 1, 5

Svislý pylon (odklon 0°)

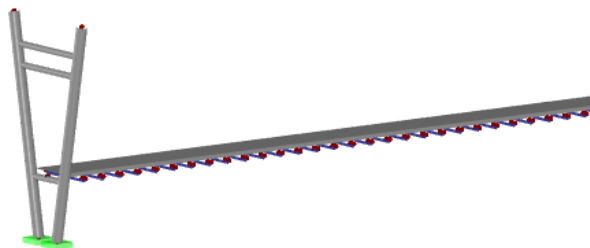
Model č. 1 je brát jako základní. Později slouží právě tento model pro porovnání ručních výpočtů s programem RFEM a v závěru bakalářské práce jsou na něm ještě provedeny minimalizace deformací.



Obrázek 9: Vstupní model č.1, 5

3.3.2 Model č. 2, 6

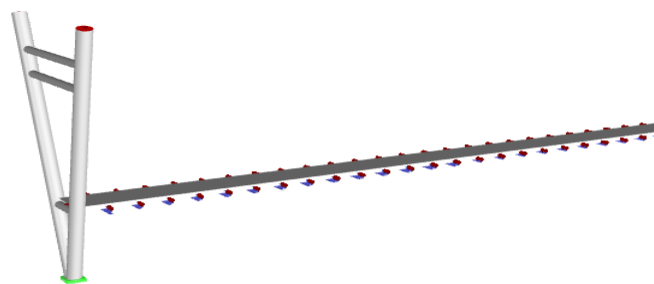
Pylon s odklonem 10° v příčném směru



Obrázek 10: Vstupní model č.2, 6

3.3.3 Model č. 3, 7

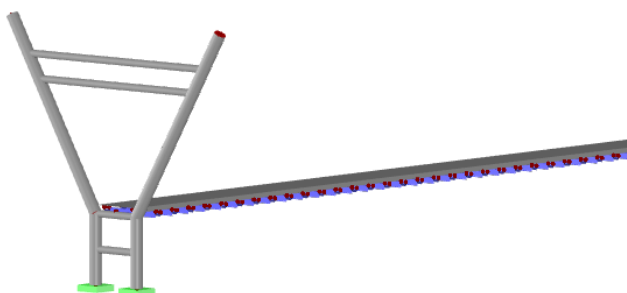
Pylon s odklonem 20° v příčném směru



Obrázek 11: Vstupní model č.3, 7

3.3.4 Model č. 4, 8

Pylon s odklonem 30° v příčném směru



Obrázek 12: Vstupní model č.4, 8

Vzhledem k velkému rozpětí konstrukce je minimální rozdíl v zobrazení rovné a parabolické mostovky na obrázcích, proto jsou modely zobrazeny pouze v rovné podobě mostovky. Cílem je především ukázka jednotlivých podob pylonů.

4 Nosné lano

Cílem ručního výpočtu je zjištění geometrického tvaru a polohy lana, ve které se ustálí. Výpočet je proveden s počátečními vstupními údaji: $L=120,000$ m a odhadnutá hodnota průvěsu lana $f=12,000$ m. Pro výpočet parabolické řetězovky je zapotřebí splnit podmínku:

$$\frac{f_{max}}{L} \leq 0,1$$
$$\frac{12,000}{120,000} \leq 0,1$$
$$0,1 \leq 0,1$$

Podmínka vyhovuje, proto můžeme počítat svislé zatížení q rovnoměrně rozdělené po horizontálním průmětu vlákna. Uvedené vzorce z kapitoly: 4 *Nosné lano* jsou převzaty z [2] a [5].

4.1 Zatížení – vlastní tíha

Původní souřadnice polygonu: $a = [0; 2,5; -15]$; $b = [120; 2,5; -15]$; $c = [60; 2,5; -3,2]$

Nové souřadnice polygonu : $a = [0; 0; 0]$; $b = [120; 0; -12]$; $c = [60; 0; 0]$

Vlastní tíha betonového segmentu:

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{segm} = A_c * x * \gamma_c = [(0,5 * 4,000) * 0,400 * 2,000] * 25 = 40,00 \text{ kN}$$

Vlastní tíha výztuže:

$$\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = A_{s,min} * x * \gamma_s = 0,02945 * 2,000 * 78,5 = 2,31 \text{ kN}$$

Vlastní tíha podporových I-profilů:

$$G_{I-profilů} = A_I * x * \gamma_s = 0,01155 * 3,000 * 78,5 = 2,72 \text{ kN}$$

Vlastní tíha závěsů:

$$\bar{l} = 7,067 \text{ m pro } f_{max} = 12,000 \text{ m}$$

$$G_{závěsů} = n * \pi * r^2 * \gamma_s * \bar{l} = 59 * \pi * 0,100^2 * 78,5 * 7,067 = 1028,12 \text{ kN}$$

Vlastní tíha nosného lana:

$$L' = 123,130 \text{ m pro } f_{max} = 12,000 \text{ m}$$

$$G_{lano} = \pi * r^2 * \gamma_s * \bar{l} = \pi * 0,200^2 * 78,5 * 123,170 = 1214,63 \text{ kN}$$

Převedení na spojitě rovnoměrné zatížení:

$$g_{mostovky} = \frac{(G_{segm} + G_s)}{L_i} = \frac{(40,00 + 2,31)}{2,000} = 20,79 \text{ kN/m}$$

$$g_{I-profilů} = \frac{G_{I-profilů}}{L_i} = \frac{2,72}{3,000} = 0,91 \text{ kN/m}$$

$$g_{závěsů} = \frac{G_{závěsů}}{L_i} = \frac{1028,12}{120,000} = 8,57 \text{ kN/m}$$

$$g_{lano} = \frac{G_{lano}}{L_i} = \frac{1214,63}{123,130} = 10,12 \text{ kN/m}$$

$$\sum g = g_{mostovky} + g_{I-profilů} + g_{závěsů} + g_{lano} = 20,79 + 0,91 + 8,57 + 10,12 = 40,38 \text{ kN}$$

$\sum g$ je součet jednotlivých spojitých zatížení, které jsou zahrnuty ve vlastní tíze. Výsledné zatížení působí na nosné lano a je součástí výpočtu pro polohu lana.

Protože nosná lana jsou dvě, je výpočet zatížení od vlastní tíhy stanoven pro polovinu konstrukce v příčném směru. Každé lano přeneso svoji polovinu konstrukce.

Pozn.: U parabolické mostovky se zatížení vlastní tíhou liší v $G_{závěsů}$, protože s ohledem na nadzvednutí mostovky o 1,000 m v polovině rozpětí se sníží délka závěsů \rightarrow průměrná délka $\bar{l} = 6,390 \text{ m}$.

$$G_{závěsů} = n * \pi * r^2 * \gamma_s * \bar{l} = 59 * \pi * 0,100^2 * 78,5 * 6,390 = 929,76 \text{ kN}$$

$$g_{závěsů} = \frac{G_{závěsů}}{L_i} = \frac{929,76}{120,000} = 7,75 \text{ kN/m}$$

$$\sum g = g_{mostovky} + g_{I-profilů} + g_{závěsů} + g_{lano} = 20,79 + 0,91 + 7,75 + 10,12 = 39,56 \text{ kN}$$

4.2 Výpočet polohy lana pro modelování

4.2.1 Rovná mostovka

Protože rozdíl výšek Δh mezi body a a b je roven nule, můžeme pro výpočet neznámé vodorovné síly H použít zjednodušený vztah:

$$H = \frac{q * l * x_m * (l - x_m)}{2 * (l * z_m - h * x_m)} = \frac{40,38 * 120,000 * 60,000 * (120,000 - 60,000)}{2 * (120,000 * 12,000 - 0 * 60,000)} = 6057,62 \text{ kN}$$

$$H = \frac{q * l^2}{8 * f} = \frac{40,38 * 120,000^2}{8 * 12,000} = 6057,62 \text{ kN}$$

Reakce:

$$\sum F_{ix} = 0: \rightarrow R_{ax} = R_{bx} = H = 6057,62 \text{ kN}$$

$$\sum M_{ib} = 0: \rightarrow R_{az} = \frac{q * L}{2} + H * \frac{h}{L} = \frac{40,38 * 120,000}{2} + 6057,62 * \frac{0,000}{120,000} = 2423,05 \text{ kN}$$

$$\sum M_{ia} = 0: \rightarrow R_{bz} = \frac{q * L}{2} - H * \frac{h}{L} = \frac{40,38 * 120,000}{2} - 6057,62 * \frac{0,000}{120,000} = 2423,05 \text{ kN}$$

Ověření:

$$\sum F_{iz} = 0: -R_{az} - R_{bz} + q * l = -2423,05 - 2423,05 + 40,38 * 120,000 = 0$$

$$R_a = \sqrt{H^2 + R_{az}^2} = \sqrt{6057,62^2 + 2423,05^2} = 6524,25 \text{ kN}$$

$$R_b = \sqrt{H^2 + R_{bz}^2} = \sqrt{6057,62^2 + 2423,05^2} = 6524,25 \text{ kN}$$

$$\operatorname{tg} \sigma_a = \frac{R_{az}}{H} = \frac{2423,05}{6057,62} = 0,38051 \rightarrow 21,8^\circ$$

$$\operatorname{tg} \sigma_b = \frac{R_{bz}}{H} = \frac{2423,05}{6057,62} = 0,38051 \rightarrow 21,8^\circ$$

Po stanovení sil (reakcí) v závěsných bodech následuje hledání skutečného tvaru a polohy lana.

Rovnice průvřesové křivky vlákna je stanovena za předpokladu, že se ohybový moment v průřezu c vlákna rovná nule.

$$z(x) = z = \frac{q * L}{2 * H} * (L - x) + \frac{h}{L} * x$$

Rovnice sklonů tečen:

$$z'(x) = z' = \frac{dz}{dx} = \frac{q}{2 * H} * (L - 2 * x) + \frac{h}{L}$$

Po uvolnění levé části vlákna plyne z rovnováhy sil

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iz} = 0$$

vodorovná a svislá složka tahové osově síly N

$$N_x = H$$

$$N_z = R_{az} - q * x$$

a zároveň její výslednici a směr

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_z^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{H}{N}$$

$$\sin \varphi = \frac{N_z}{N}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{N_z}{H}$$

Dalším krokem je zahrnutí vlivu pružného přetvoření lana, ačkoliv se předpokládá, že vlákno je neprodloužitelné. Jedná se o stav, kdy konstrukci zatížíme vlastní tíhou a nosné lano se v prodlouží.

Délka jednotlivých částí polygonu:

$$l_i = \sqrt{(x_i)^2 + (z'_i)^2}$$

Prodloužení částí polygonu:

$$\Delta l_i = \frac{N_i + l_i}{E * A}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$A_{\text{lana}} = \pi * r^2 = \pi * 0,2^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

Z Hookova zákona plyne:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Protože předešlé hodnoty jsou prováděny po $x = 2,000 \text{ m}$, jsou shrnuty v tabulce.

Tabulka 2: Předběžné výsledky - rovná mostovka

n	z_i [m]	z_i' [m]	N_x [kN]	N_z [kN]	N [kN]	tg (φ) [rad]	tg (φ) [°]	l_i [m]	Δl_i [mm]
0	0,000	0,400	6057,62	2423,05	6524,25	0,38	21,80	2,040	0,504
2	0,787	0,387	6057,62	2342,28	6494,69	0,37	21,14	2,037	0,501
4	1,547	0,373	6057,62	2261,51	6466,00	0,36	20,47	2,035	0,499
6	2,280	0,360	6057,62	2180,74	6438,20	0,35	19,80	2,032	0,496
56	11,947	0,027	6057,62	161,54	6059,77	0,03	1,53	2,000	0,459
58	11,987	0,013	6057,62	80,77	6058,16	0,01	0,76	2,000	0,459
60	12,000	0,000	6057,62	0,00	6057,62	0,00	0,00	2,000	0,459
62	11,987	-0,013	6057,62	-80,77	6058,16	-0,01	-0,76	2,000	0,459
64	11,947	-0,027	6057,62	-161,54	6059,77	-0,03	-1,53	2,000	0,459
108	4,320	-0,320	6057,62	-1938,44	6360,21	-0,31	-17,74	2,025	0,488
110	3,667	-0,333	6057,62	-2019,21	6385,29	-0,32	-18,43	2,028	0,491
112	2,987	-0,347	6057,62	-2099,97	6411,29	-0,33	-19,12	2,030	0,493
114	2,280	-0,360	6057,62	-2180,74	6438,20	-0,35	-19,80	2,032	0,496
116	1,547	-0,373	6057,62	-2261,51	6466,00	-0,36	-20,47	2,035	0,499
118	0,787	-0,387	6057,62	-2342,28	6494,69	-0,37	-21,14	2,037	0,501
120	0,000	-0,400	6057,62	-2423,05	6524,25	-0,38	-21,80	2,040	0,504
Σ								122,835	28,959
								l_0	122,835
								$l_{k,1}$	122,835
								$\Delta l_{k,1}$	28,959

Jak již bylo výše zmíněno, po zatížení se lano prodlouží, což je způsobeno působením normálových sil. V první fázi se lano prodlouží o $\Delta l_{k,1} = 28,959 \text{ mm}$. V následných iteracích jsou měněny průvěsy tak, aby bylo docíleno, že po zatížení lana, projde lano přibližně předem stanoveným bodem. Cílem je najít hodnotu průvěsu, která se v iteracích přiblíží nule. Tuto podmínku u rovné mostovky splnila 6. iterace s hodnotou průhybu $f = 11,786 \text{ m}$.

Tabulka 3: Iterace - rovná mostovka

ITERACE						
k	f [m]	l_k [m]	Δl_k [mm]	σ [kPa]	ε [-]	$(l_k + \Delta l_k) - l_0$ [m]
0	12	122,835	28,959	49509,15	0,00023576	0,0290
1	11,9	122,822	29,159	49855,79	0,00023741	0,0154
2	11,8	122,808	29,362	50208,52	0,00023909	0,0019
3	11,6	122,781	29,779	50932,87	0,00024254	-0,0247
4	11,78	122,805	29,403	50280,42	0,00023943	-0,0008
5	11,79	122,807	29,383	50244,44	0,00023926	0,0006
6	11,786	122,806	29,391	50259,12	0,00023933	0,0000
7	11,785	122,806	29,392	50261,66	0,00023934	-0,0001

Hodnoty f jsou postupně voleny tak, aby bylo dosaženo požadované podmínky $(l_k + \Delta l_k) - l_0$. Přičemž l_k je celková délka stran polygonů a Δl_k znamená, o kolik se polygon prodlouží při daném průvěsu.

Parametr l_0 pro rovnou mostovku je roven 122,835 m a je to výchozí hodnota, se základním průhybem $f=12,000m$, pro jednotlivé kroky iterace.

4.2.2 Parabolická mostovka

$$H = R_{ax} = R_{bx} = 5934,22 \text{ kN}$$

$$R_{az} = R_{bz} = 2373,69 \text{ kN}$$

$$R_a = R_b = 6391,35 \text{ kN}$$

$$\tan \sigma_a = \tan \sigma_b = 0,38051 \rightarrow 21,8^\circ$$

Tabulka 4: Předběžné výsledky - parabolická mostovka

x [m]	z [m]	z' [m]	N_x [kN]	N_z [kN]	N [kN]	φ [rad]	φ [°]	l_i [m]	Δl_i [mm]
0	0,000	0,400	5934,22	2373,69	6391,35	0,38	21,80	2,040	0,494
2	0,787	0,387	5934,22	2294,57	6362,39	0,37	21,14	2,037	0,491
4	1,547	0,373	5934,22	2215,44	6334,29	0,36	20,47	2,035	0,488
6	2,280	0,360	5934,22	2136,32	6307,05	0,35	19,80	2,032	0,486
8	2,987	0,347	5934,22	2057,20	6280,69	0,33	19,12	2,030	0,483
56	11,947	0,027	5934,22	158,25	5936,33	0,03	1,53	2,000	0,450
58	11,987	0,013	5934,22	79,12	5934,75	0,01	0,76	2,000	0,450
60	12,000	0,000	5934,22	0,00	5934,22	0,00	0,00	2,000	0,450
62	11,987	-0,013	5934,22	-79,12	5934,75	-0,01	-0,76	2,000	0,450
64	11,947	-0,027	5934,22	-158,25	5936,33	-0,03	-1,53	2,000	0,450
108	4,320	-0,320	5934,22	-1898,95	6230,65	-0,31	-17,74	2,025	0,478
110	3,667	-0,333	5934,22	-1978,07	6255,22	-0,32	-18,43	2,028	0,481
112	2,987	-0,347	5934,22	-2057,20	6280,69	-0,33	-19,12	2,030	0,483
114	2,280	-0,360	5934,22	-2136,32	6307,05	-0,35	-19,80	2,032	0,486
116	1,547	-0,373	5934,22	-2215,44	6334,29	-0,36	-20,47	2,035	0,488

118	0,787	-0,387	5934,22	-2294,57	6362,39	-0,37	-21,14	2,037	0,491
120	0,000	-0,400	5934,22	-2373,69	6391,35	-0,38	-21,80	2,040	0,494
								Σ	
								122,835	28,369
								l_0	122,835
								$l_{k,1}$	122,835
								$\Delta l_{k,1}$	28,369

U parabolické mostovky se, v první fázi, lano prodlouží o $\Delta l_{k,1} = 28,369$ mm. V této části vyhověla 4. iterace s průhybem $f=11,790$ m.

Tabulka 5: Iterace - parabolická mostovka

ITERACE						
k	f [m]	l_k [m]	Δl_k [mm]	σ [kPa]	ϵ [-]	$(l_k + \Delta l_k) - l_0$ [m]
0	12,000	122,835	28,369	48500,62	0,0002310	0,0284
1	11,900	122,822	28,591	48885,68	0,0002328	0,0148
2	11,800	122,808	28,790	49230,61	0,0002344	0,0013
3	11,600	122,781	29,226	49986,53	0,0002380	-0,0252
4	11,790	122,807	28,781	49215,86	0,0002344	0,0000

Pro parabolickou mostovku l_0 nabývá hodnoty 122,835 m.

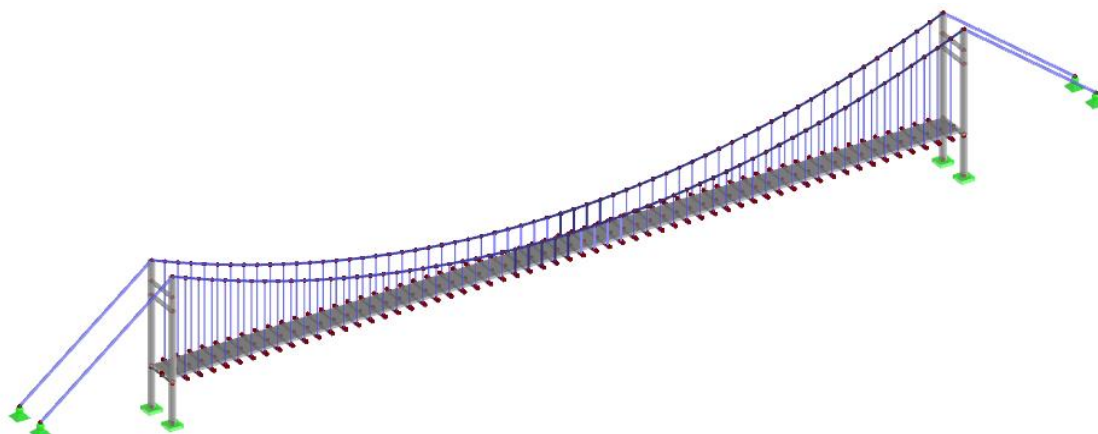
Z výsledků vyplývá, že hodnoty výsledných průvřsů lana se výrazně neliší pro model s rovnou a model s parabolickou mostovkou. Rovná mostovka má o 4 mm menší průvřs.

5 Modelování

V následující kapitole jsou znázorněny modely jednotlivých počítaných variant. [1]

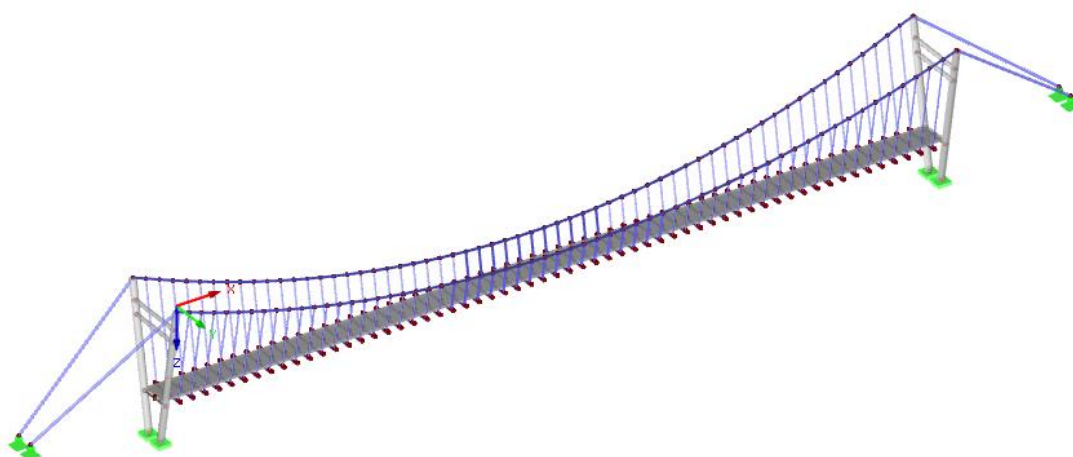
5.1 Varianty

5.1.1 Model č. 1,5



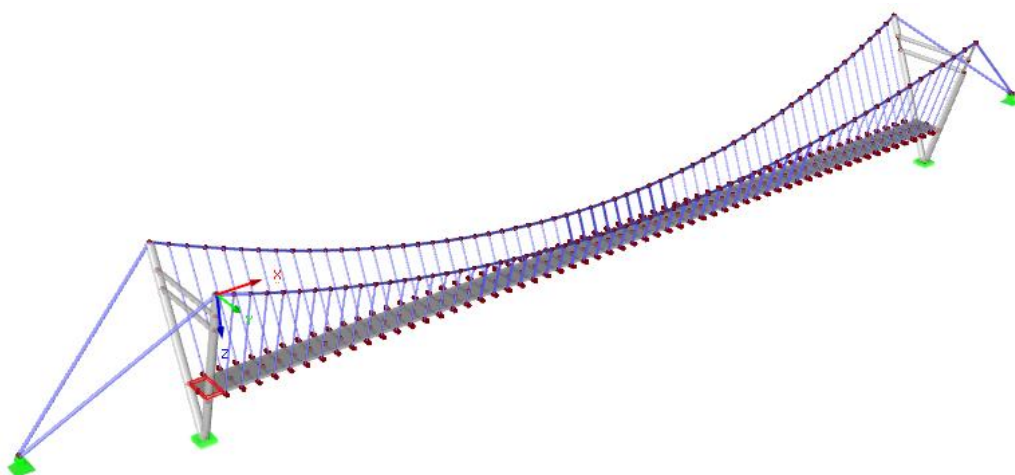
Obrázek 13: Model č. 1, 5

5.1.2 Model č. 2, 6



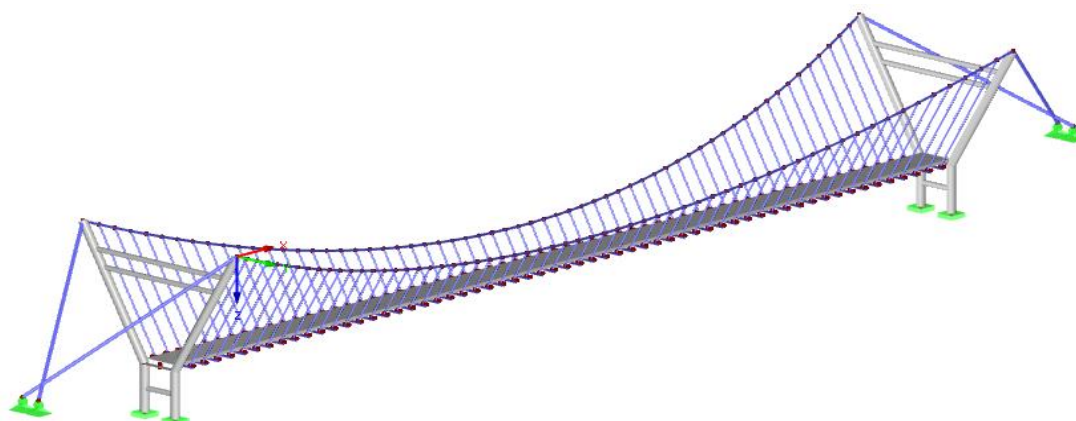
Obrázek 14: Model č. 2, 6

5.1.3 Model č. 3, 7



Obrázek 15: Model č. 3, 7

5.1.4 Model č. 4, 8



Obrázek 16: Model č. 4, 8

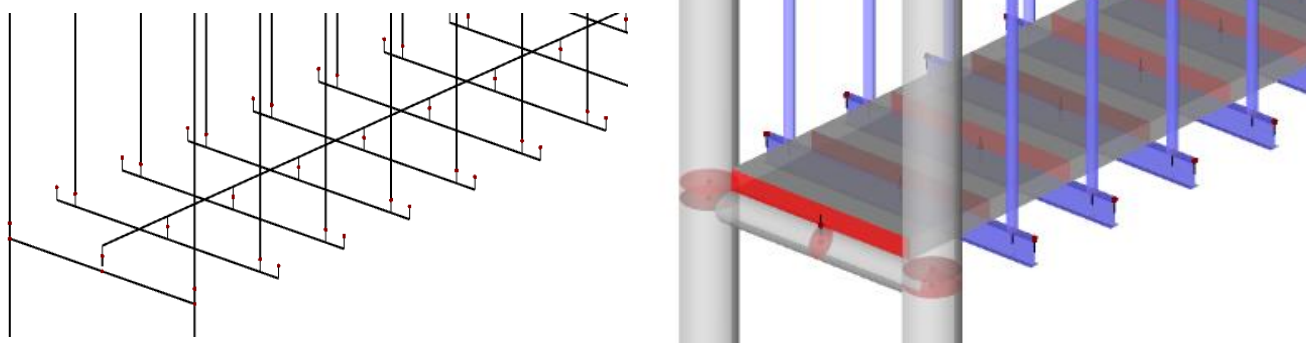
5.2 Okrajové podmínky

Pylony jsou namodelovány jako vetknuté do podloží. Záchytná (pomocná) lana jsou podepírány pevnou podporou. Pevná podpora je zvolena, protože záchytné lano je namodelováno jako typ prutu *lano*, který má na začátku a na konci prutu automaticky daný kloub.

U modelu č. 1, ve kterém je porovnáván softwarový výpočet s ručním, jsou navíc dočasně přidány pevné podpory ve vrcholech pylonů – respektive na počátečních a koncových bodech nosného lana. Tyto podpory jsou přidány z důvodu, aby kopírovali statické schéma nosného lana, se kterým je prováděn ověřovací ruční výpočet.

5.3 Excentricity

V modelech jsou vytvořeny *uzly* → *linie* (*polylinie*) → *pruty se zadaným průřezem*. Protože linie prochází těžištěm průřezu (v případě symetrických průřezu, což je případ této práce, prochází linie středem průřezů), je zřejmé, že některé linie nejsou mezi sebou propojeny. Pylony jsou liniově spojeny s příčnými výztuhami a nosnými lany. Výše zmíněný problém se tedy týká mostovky, podporových I-profilů a ukotvení závěsů do I-profilů. Abychom docílili propojení, jsou linie mostovky a I-profilů posunuty na úroveň z-ových souřadnic dolních uzlů závěsů v každém průřezu ($x = 2, 4, \dots$). Následně je mostovka zvednuta na excentricitu $e_1 = -0,200$ m a I-profil posunutý ve směru z o excentricitu $e_2 = 0,250$ m.



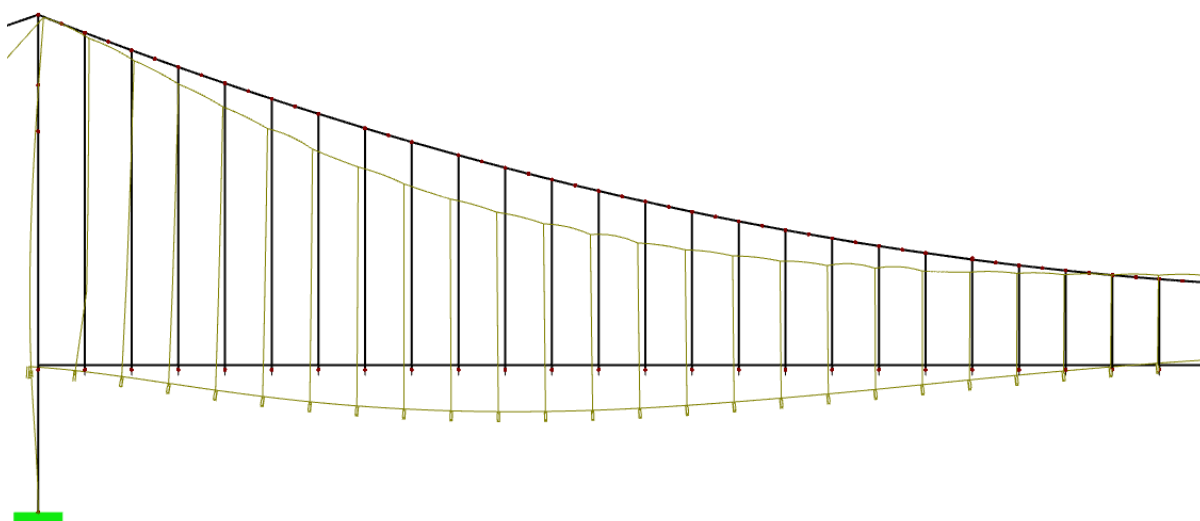
Obrázek 17: Excentricity

5.4 Vazby

V rámci nauky v programu RFEM byla vyzkoušena, jako typ prutu, *vazba vetknutí – kloub*, kterou se zajistilo spolupůsobení spodní příčné výztuhy mezi pylony a krajního bodu linie mostovky. Příčná výztuha působí jako podepření pro mostovku, proto je u výztuhy vetknutí a u mostovky kloub.

5.5 Nosné lano

V počáteční fázi bylo nosné lano modelováno po 2,000m úsecích jako parabola. Horní uzly závěsů sloužily jako krajní body paraboly s následným vytvořením vrcholů. Vzhledem k parabole, která je vytvořená ze 3 bodů, vzniklo nežádoucí dopnutí vrcholů a v globálních deformacích se vytvořily obloučky. Ve snaze docílit plynulejší deformace bylo nosné lano přemodelováno na polylinie.



Obrázek 18: Deformace paraboly

6 Porovnání výsledků ručního výpočtu s programem

Při porovnání výsledků není uvažována vlastní tíha pylonů a příčných výztuh, se kterou se neuvažovalo ani při ručním výpočtu, protože není součástí zatížení na nosné lano. Pro ověřovací výpočet se objemová tíha pylonů a příčných výztuh změnila.

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3 \quad \rightarrow \quad \gamma_c = 0 \text{ kN/m}^3$$

Ověřován je model č.1 se svislým pylonem.

- Reakce R_x

$$R_{ax} = R_{bx} = H = 6057,62 \text{ kN}$$

$$R_{ax,RFEM} = R_{bx,RFEM} = H = 5841,53 \text{ kN}$$

- Reakce R_z

$$R_{az} = R_{bz} = 2423,05 \text{ kN}$$

$$R_{az,RFEM} = R_{bz,RFEM} = 2328,41 \text{ kN}$$

Odchyłky reakcí ve směru x a z jsou 0,96 %.

- Výslednice

$$R_z = 2 * (R_{az} + R_{bz}) = 2 * (2423,05 + 2423,05) = 9692,20 \text{ kN}$$

$$R_{z,RFEM} = 9648,15 \text{ kN}$$

Odchyłka výslednic je 0,995 %.

Vzhledem k minimálním odchyłkám, které nedosahují ani 1,00 % lze říci, že modelování proběhlo úspěšně a tedy, že ruční výpočet, ze kterého se vycházelo, se shoduje se softwarem. U zbylých modelů se předpokládá správnost modelování.

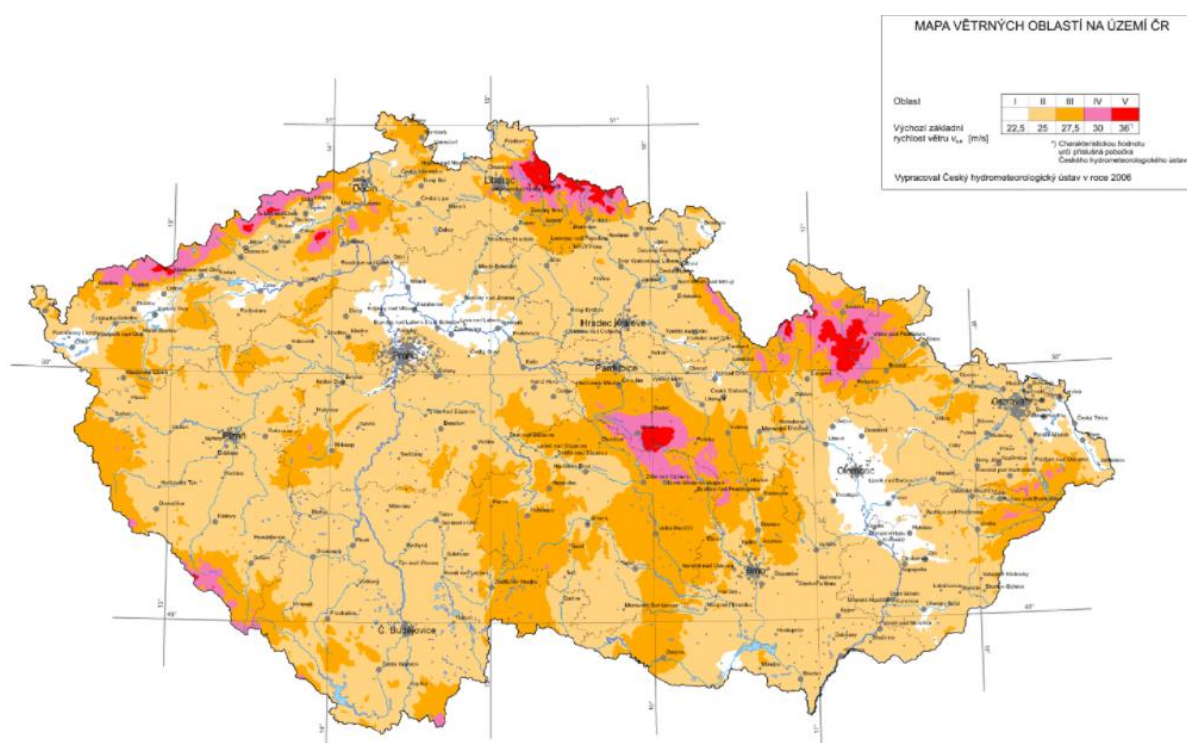
7 Zatížení

7.1 Proměnné zatížení

Kromě vlastní tíhy konstrukce je lávka zatěžována několika ručně spočítanými zatíženími, kterými byly následně zatěžovány modely v programu RFEM. Zatížení byla počítána dle [3], [6], [7], [8], [9] a [10].

7.1.1 Vítr

Uvažován je vítr ve směru osy x. [7]



Obrázek 19: Mapa větrných oblastí [11]

$$v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

$$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season} = 27,5 * 1,0 * 1,0 = 27,5 \text{ m/s}$$

..... výchozí základní rychlost větru

..... součinitel směru větru

.....součinitel ročního období

.....základní rychlost větru

Kategorie terénu		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I	Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II	Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20-ti násobek výšky překážek	0,05	2
III	Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20-ti násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV	Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10

Tabulka 6: Kategorie terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

.....parametr drsnosti terénu

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,05}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19$$

.....součinitel terénu

$$c_0(z) = 1,0$$

.....součinitel orografie

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

.....součinitel drsnosti terénu

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

.....střední rychlost větru

$$k_1 = 1,0$$

.....součinitel turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

.....intenzita turbulence

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

.....měrná hmotnost vzduchu

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

.....základní dynamický tlak větru

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

.....max. dynamický tlak větru

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

.....součinitel expozice

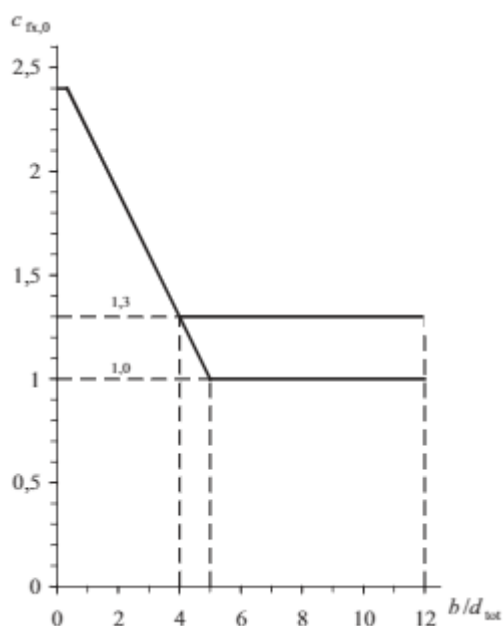
Součinitel sil $c_{fx,0}$ můžeme určit pro běžné mosty hodnotou 1,3. Zároveň platí předpoklad, který vychází z grafu, že hodnota může být použita v etapě výstavby s prodyšnými zábradlími (více než 50 % otvorů). V našem případě nebyla navržena žádná neprodyšná zábradlí nebo protihlukové stěny, proto se součinitelem o hodnotě $c_{fx,0} = 1,3$ můžeme dále uvažovat.

$$c_{fx,0}$$

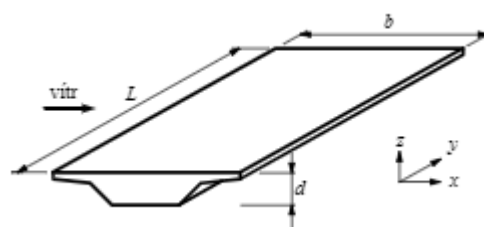
.....součinitel síly bez vlivu

proudění kolem volných konců

Norma definuje $c_{fx} = c_{fx,0}$ pro zatížení větrem na nosnou konstrukci mostu ve směru x.



Obrázek 20: Součinitel sil bez vlivu proudění kolem volných konců



Obrázek 21: Směry zatížení větru

$$c = c_{fx} * c_e$$

.....součinitel zatížení větrem

$$A_{ref,x} = 1 \text{ m}^2$$

.....referenční plocha

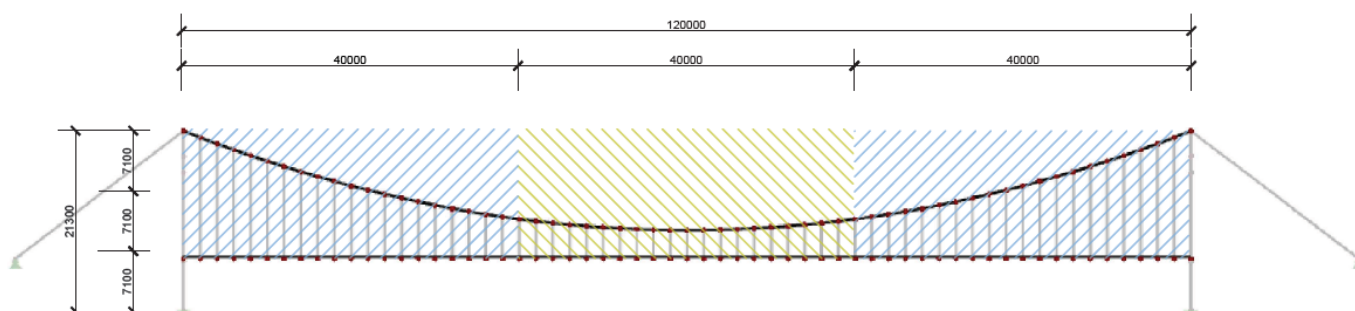
Referenční plocha byla definována pro zjednodušení přepočtu na jednotlivé prvky 1 m².

Vzhledem k tomu, že se práce nezabývá dynamickým výpočtem, sílu od větru ve směru x stanovíme:

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x}$$

Protože pylon má délka 21,3 m, byl z důvodu rozdílného působení větru při nižších výškách a při vyšších rozdělen na 3 části. Pylon byl rozdělen po $\frac{1}{3} * L$. Každá část má tedy 7,1 m a je zatěžována příslušnou hodnotou.

Stejný problém se jeví u závěsů a nosného lana - vzhledem k velice rozdílným délkám závěsů, které u kraje dosahují až 15,186 m a v polovině rozpětí pouhých 3,400 m. Nosné lano a závěsy byly proto rozděleny také na 3 části ve směru x. Výška byla zvolena jako průměr horních uzlů závěsů z jednotlivých částí. Část jedna a část tři mají shodnou výšku pro výpočet.



Obrázek 22: Rozdělení výšek pro zatížení větrem

	I-profil	Betonový segment	Pylon - terén	Pylon - střed	Pylon - vrchol	Závěsy - okraj	Závěsy - vnitřní	Lano - okraj	Lano - Vnitřní
z [m]	5,850	6,300	7,100	14,200	21,300	16,060	11,135	16,060	10,165
c _r	0,905	0,919	0,942	1,073	1,150	1,097	1,027	1,097	1,010
k ₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
I _v	0,210	0,207	0,202	0,177	0,165	0,173	0,185	0,173	0,188
v _m [m/s]	24,882	25,270	25,894	29,516	31,634	30,159	28,245	30,159	27,769
q _p [kN/m ²]	955,753	976,741	1010,994	1219,207	1348,605	1257,896	1144,301	1257,896	1116,743
q _b [kN/m ²]	472,656	472,656	472,656	472,656	472,656	472,656	472,656	472,656	472,656
c _e	2,022	2,066	2,139	2,579	2,853	2,661	2,421	2,661	2,363
c	2,629	2,686	2,781	3,353	3,709	3,460	3,147	3,460	3,072
F _w [kN]	1242,48	1269,76	1314,29	1584,97	1753,19	1635,27	1487,59	1635,27	1451,77

Tabulka 7: Výpočet zatížení větrem jednotlivých částí konstrukce

$$F_{w,x} = \frac{F_w}{A_{ref,x}} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Následně byly síly F_w přepočítány na spojité zatížení vynásobením výšek prvků a zadány do programu RFEM. Výjimku tvoří podporové I-profil, protože vítr působí na čelní stranu profilů. Změna se

odehrává v zadání síly do programu, nikoliv spojitého rovnoměrného zatížení, proto je síla $F_{w,x}$ vynásobena čelní plochou I- profilu o hodnotě $0,0116 \text{ m}^2$. Níže uvedené hodnoty byly zadávány do programu.

I profily: $F_{w,x} = F_w * A_{I\text{-profilu}} = 1,242 * 0,0116 = 0,014 \text{ kN}$

Betonový segment: $F_{w,x} = F_w * v = 1,270 * 0,4 = 0,508 \text{ kN}$

Pylon terén: $F_{w,x} = F_w * v = 1,314 * 1,0 = 1,314 \text{ kN}$

Pylon střed: $F_{w,x} = F_w * v = 1,585 * 1,0 = 1,585 \text{ kN}$

Pylon vrchol: $F_{w,x} = F_w * v = 1,753 * 1,0 = 1,753 \text{ kN}$

Závěs okraj: $F_{w,x} = F_w * v = 1,635 * 0,2 = 0,327 \text{ kN}$

Závěs vnitřní část: $F_{w,x} = F_w * v = 1,452 * 0,2 = 0,290 \text{ kN}$

Nosné lano okraj: $F_{w,x} = F_w * v = 1,635 * 0,4 = 0,654 \text{ kN}$

Nosné lano vnitřní část: $F_{w,x} = F_w * v = 1,452 * 0,4 = 0,581 \text{ kN}$

7.1.2 Sníh

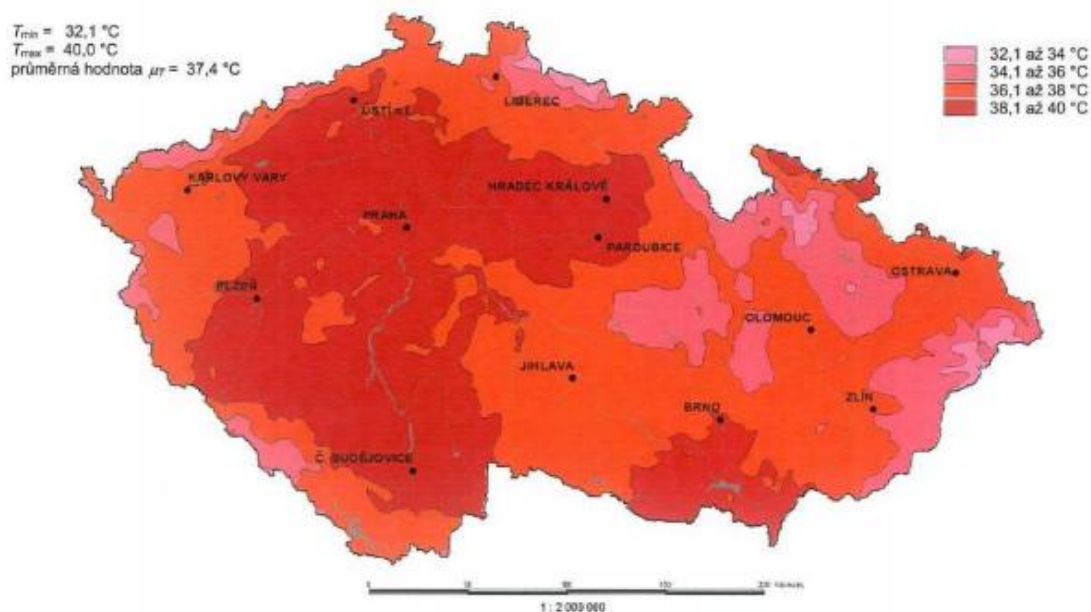
Zatížení sněhem se dle ČSN EN 1991-1-3 uvažuje pouze během provádění. [6]

7.1.3 Námraza

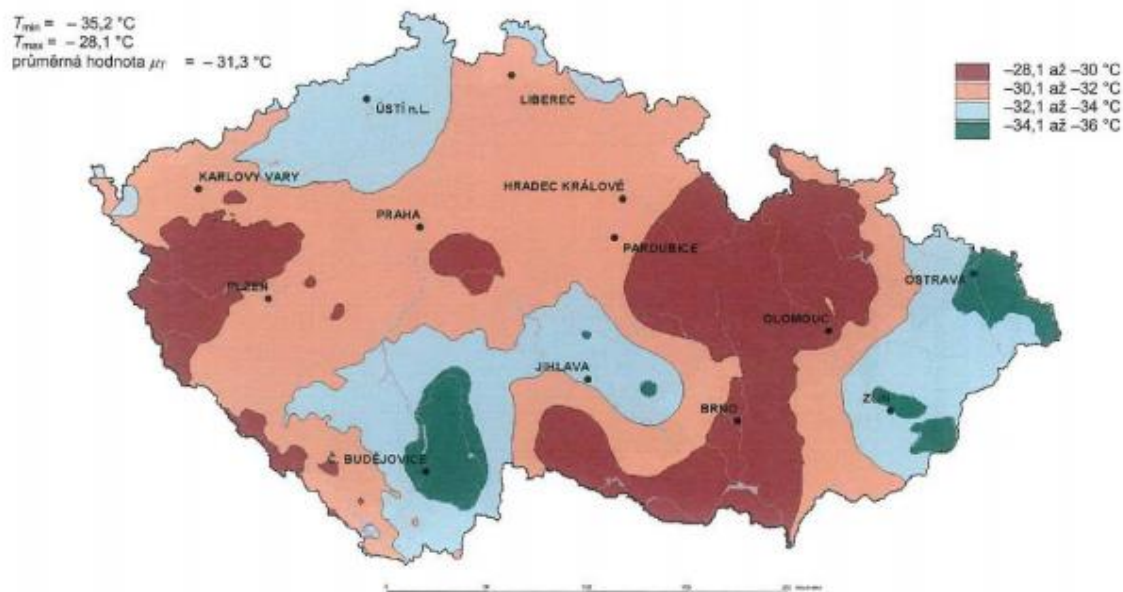
Pro účely práce nebyl vliv námrazy na lávce uvažován.

7.1.4 Teplota

Zatížení od teploty bylo provedeno pouze na mostovce. Výpočet je proveden dle [8] a [10].



Obrázek 23: Mapa maximálních teplot ve stínu pro ČR



Obrázek 24: Mapa minimálních teplot ve stínu pro ČR

V ČSN EN 1991-1-5 se rozlišují 3 typy nosných konstrukcí mostů:

- 1. typ – ocelová nosná konstrukce
- 2. typ – ocelobetonová nosná konstrukce
- 3. typ – betonová nosná konstrukce

Vzhledem k zatěžování pouze mostovky byl výpočet proveden s 3. typem.

Rovnoměrná složka teploty, která byla počítána, závisí na maximální a minimální teplotě mostu, které může most v předepsaném časovém období dosáhnout. Výsledkem je několik rovnoměrných teplotních změn, které mohou způsobit délkové změny. Vychází se z hodnoty, která je určena z denních teplotních rozsahů. Hodnota $T_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla pro ČR ověřena a je nejvhodnější.

$$T_{MAX} = 36\text{ }^{\circ}\text{C} \in \langle 30; 50 \rangle$$

$$T_{MIN} = -17\text{ }^{\circ}\text{C} \in \langle -50; 0 \rangle$$

Rovnoměrné složky teplot:

$$T_{e,max} = T_{MAX} + 1,5 = 36 + 1,5 = 37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,min} = T_{MIN} + 8 = -17 + 8,0 = -9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Rozsah rovnoměrných teplot:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 10 - (-9,0) = 19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 37,5 - 10 = 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Rozsah celkových účinných teplot mostu je tedy:

$$\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min} = 37,5 - (-9,0) = 46,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Do programu RFEM jsou zadávány hodnoty $\Delta T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $T_c = 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro zatížení od oteplení a $T_c = -20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ od ochlazení.

7.1.5 Chodci

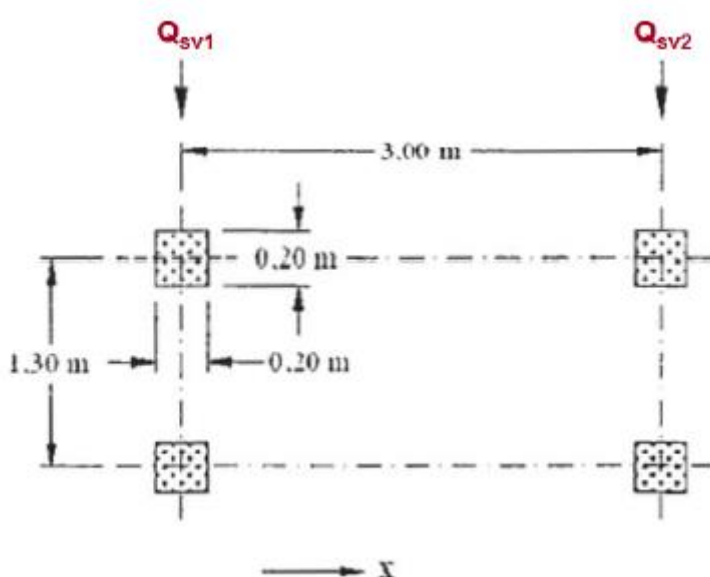
Jelikož je lávka určena pouze pro pěší a cyklisty, uvažujeme s modelem zatížení *LM 4: Zatížení davem lidí*. V modelu zatížení LM 4 už jsou zahrnuty dynamické účinky, které postačí pro šířky lávek do 6,000 m. Model se užívá pro celková ověření a je pouze pro dočasné návrhové situace. Zatížení davem lidí se uvažuje rovnoměrné v rozmezí hodnot 2,5 – 5,0 kN/m². Přesná hodnota vychází ze vzorce:

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L+30} = 2,0 + \frac{120}{120,000+30} = 2,8\text{ kN/m}^2$$

S hodnotou $q_{fk} = 2,8\text{ kN/m}^2$ byly vytvořeny 4 zatěžovací stavy, které napodobují chování chodců na lávce. Zatížení bylo následně aplikováno do programu RFEM. S největší možnou hodnotou $q_{fk} = 5,0\text{ kN/m}^2$ byl vytvořen jeden zatěžovací stav tzv. „davový účinek“, ve kterém se předpokládá zvýšený výskyt chodců a cyklistů uprostřed rozpětí lávky, který může být způsoben nečekanou událostí.

7.1.6 Obslužné vozidlo

Mezi svislé zatížení na lávce je nutné zahrnout i soustředěné zatížení v případě, že je zamezeno vjetí vozidel na lávku. V našem případě není zamezeno vjetí vozidel na lávku, proto je započítáno obslužné vozidlo Q_{serv} o hmotnosti 12 t. Vzhledem k velkému rozpětí lávky, které je větší než 10,0 m, je možné model dvojnápravy 80+40 kN vzdálených od sebe 3,0 m nahradit jednou silou o velikosti 120 kN. Na rozpětí 120,0 m toto zjednodušení nemá význam na ohybové momenty.



Obrázek 25: Model dvojnápravy obslužného vozidla

7.1.7 Vodorovné zatížení

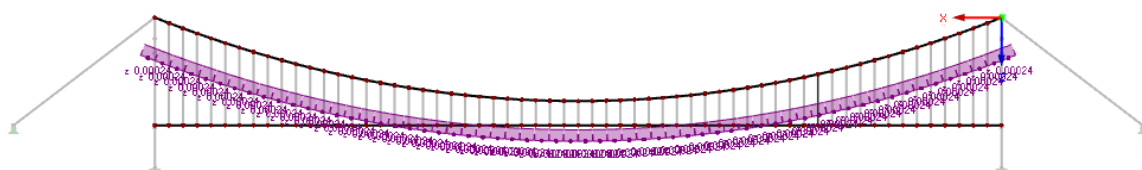
Dále se uvažuje vodorovná síla Q_{flk} , která působí v úrovni nášlapné vrstvy lávky v podélném směru v hodnotě:

$$\begin{aligned} Q_{flk} &= \max\{10\% \text{ rovnoměrného zatížení}; 60\% \text{ obslužného vozidla}\} \\ &= \max\{0,1 * 2,8 * 4; 0,6 * 120/120\} = \max\{1,12; 0,6\} = 1,12\text{ kN/m} \end{aligned}$$

Údaje uvedené v kapitolách 7.1.5, 7.1.6 a 7.1.7 byly zpracovány dle [9] a [10].

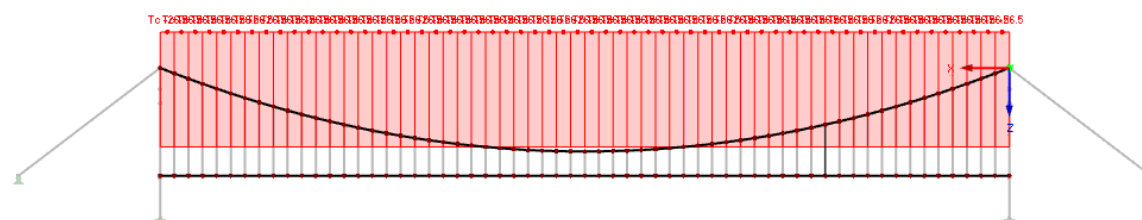
7.2 Zatěžovací stavy

ZS 1: Vlastní tíha



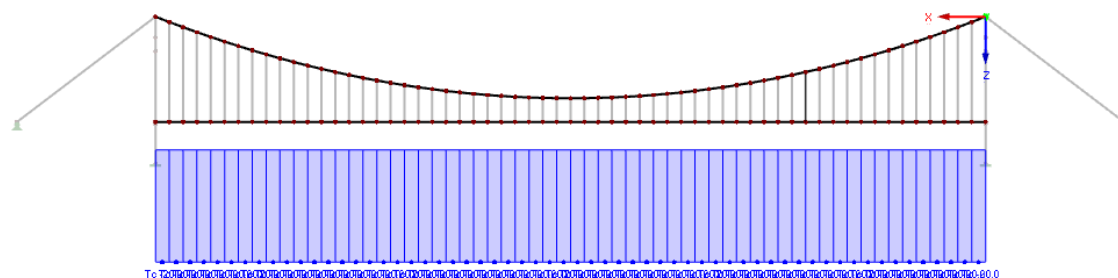
Obrázek 26: ZS 1

ZS 2: Teplota ($T_c = 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)



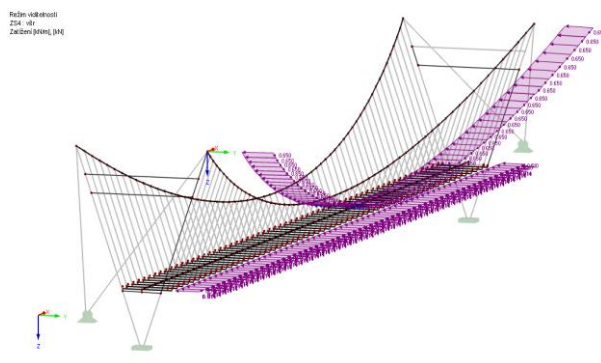
Obrázek 27: ZS 2

ZS 3: Teplota ($T_c = -20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

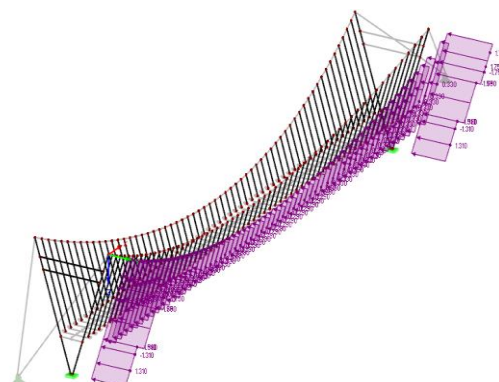


Obrázek 28: ZS 3

ZS 4: Vítr

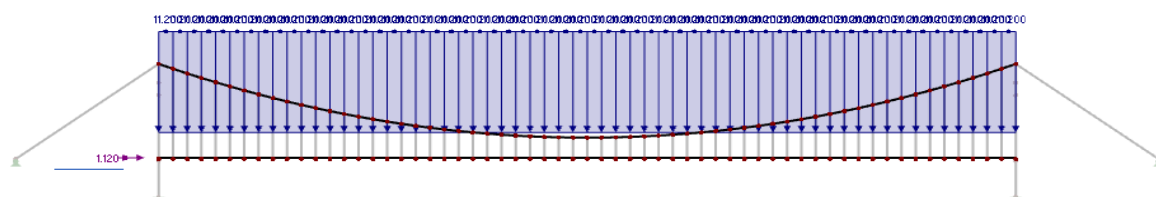


Obrázek 29: ZS 4-1.část



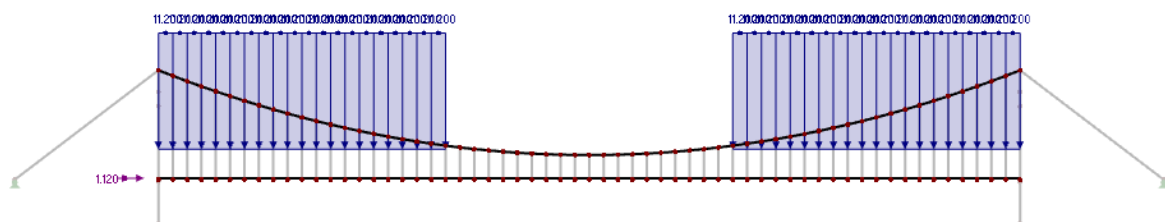
Obrázek 30: ZS 4-2. část

ZS 5: Chodci 1



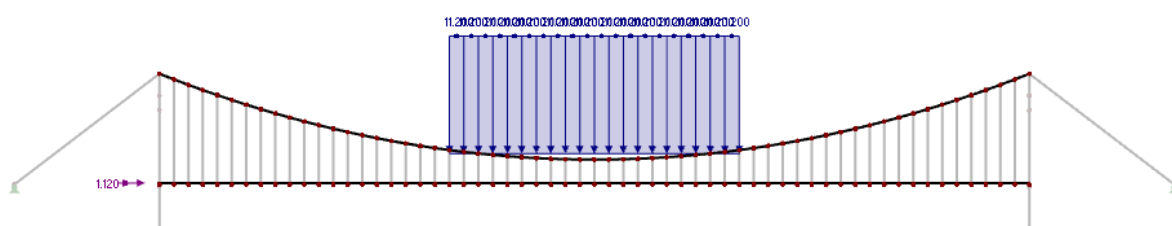
Obrázek 31: ZS 5

ZS 6: Chodci 2



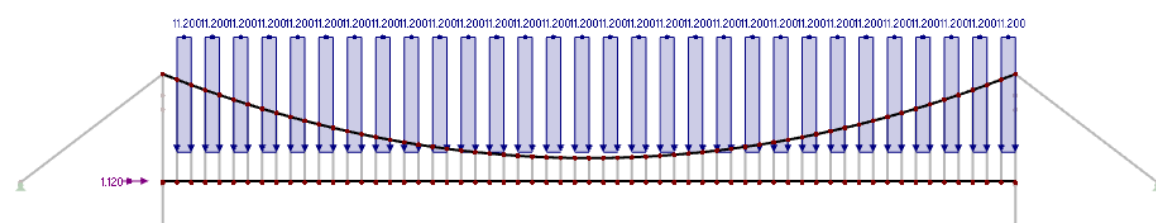
Obrázek 32: ZS 6

ZS 7: Chodci 3



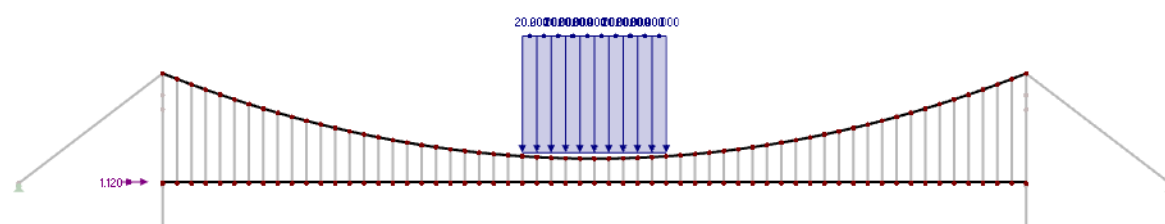
Obrázek 33: ZS 7

ZS 8: Chodci 4



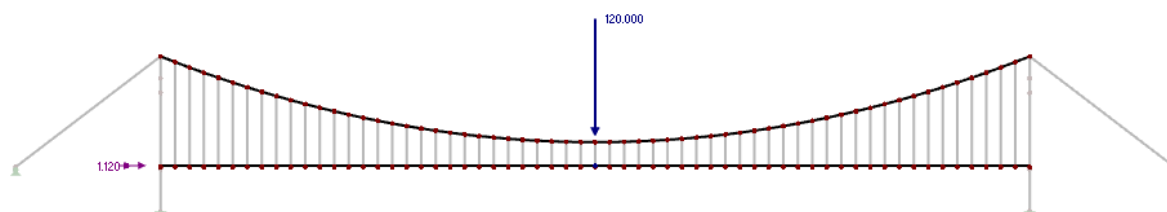
Obrázek 34: ZS 8

ZS 9: Davový účinek



Obrázek 35: ZS 9

ZS 10: Servisní vozidlo



Obrázek 36: ZS 10

Pozn.: Pro zatěžovací stavy 5-10 platí sestavy zatížení gr1 a gr2.

gr1: rovnoměrné spojité zatížení q_{fk} + vodorovné zatížení Q_{flk}

gr2: obslužné vozidlo Q_{serv} + vodorovné zatížení Q_{flk}

Sestava se má uvažovat jako charakteristická hodnota zatížení pro kombinace s jiným zatížením.

8 Kombinace

Pro účely práce byla zvolena kombinace podle rovnice 6.10. [4]

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_i$$

G – stálé zatížení

P – předpětí (není náš případ)

Q – proměnné zatížení

Návrhové součinitele γ :

$\gamma_G = 1,35$ (nepříznivé stálé zatížení)

$\gamma_Q = 1,50$ (proměnná zatížení od větru a teploty)

$\gamma_G = 1,35$ (nepříznivé zatížení od chodců)

Kombinační součinitele ψ_0 :

Zatížení/sestava	ψ_0
gr1	0,4
Q_{fwk}	0
gr2	0
vítr	0,3
teplota	0,6

Tabulka 8: Kombinační součinitele

Pro další zpracování byly vybrány zatěžovací stavy, které vyvolávají největší účinky. Jsou to zatěžovací stavy ZS 1,2,3,4,5,9,10. Celkem bylo vytvořeno 12 hlavních kombinací, ve kterých působí všechny zatěžovací stavy tak, aby vyvolali největší vnitřní síly a deformace. Porovnání kombinací na neoptimalizovaných modelech by mohlo být zavádějící, proto bylo provedeno zhodnocení kombinací po optimalizaci. Pro grafické vyhodnocení byly vybrány kombinace K1, K5 a K6.

	Vlastní tíha	Teplota +	Teplota -	Vítr	Chodci 1	Chodci 2	Chodci 3	Chodci 4	Dav	Obslužné vozidlo
K1	•	•		•	•					
K2	•					•				
K3	•						•			
K4	•							•		
K5	•								•	
K6	•									•
K7	•		•	•	•					
K8	•					•				
K9	•						•			
K10	•							•		
K11	•								•	
K12	•									•

Tabulka 9: Přehled hlavních kombinací

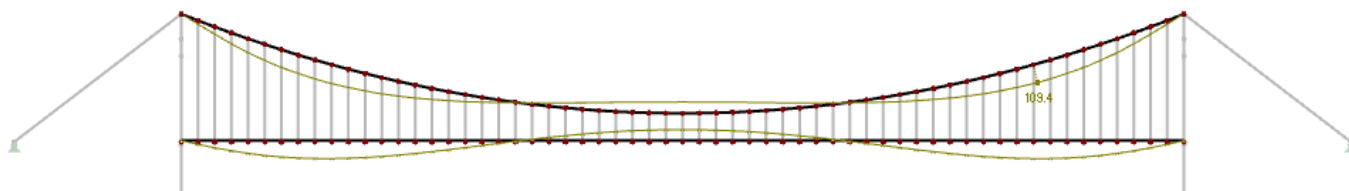
9 Výsledky – porovnání variant

Globální deformace na modelech jsou zobrazené v měřítku 20:1. Výsledné hodnoty byly pro přehlednost zpracovány do níže uvedených tabulek (v milimetrech) a grafů podle vlivu jednotlivých zatěžovacích stavů a kombinací. Deformace byly sledovány v šestině rozpětí a v polovině rozpětí.

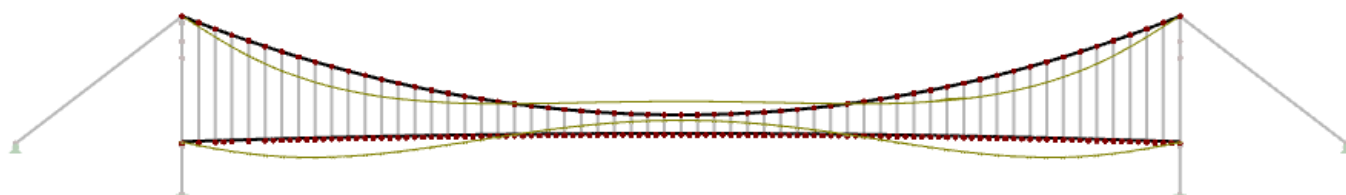
9.1 Zatěžovací stav – vlastní tíha

Protože se lano po zatížení prodlouží, bude zatěžovací stav „vlastní tíha“ zatížena zkrácením lana v hodnotě $\varepsilon = -0,00024$. Tímto dostaneme opět stav počátečního návrhu. Po zatížení se lano ustálí na hledaných průvřesech, které vyšly z iterací pro rovnou a parabolickou mostovku.

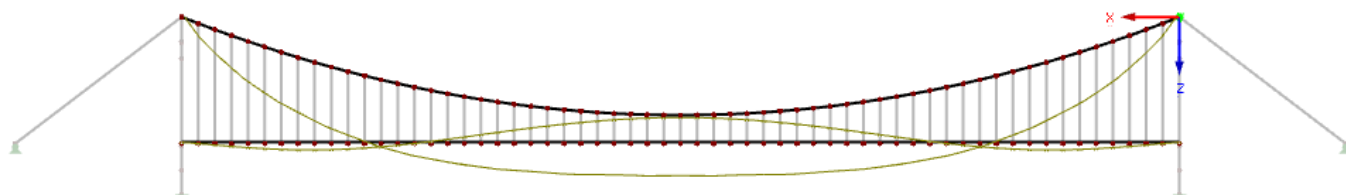
- Nosné lano + mostovka



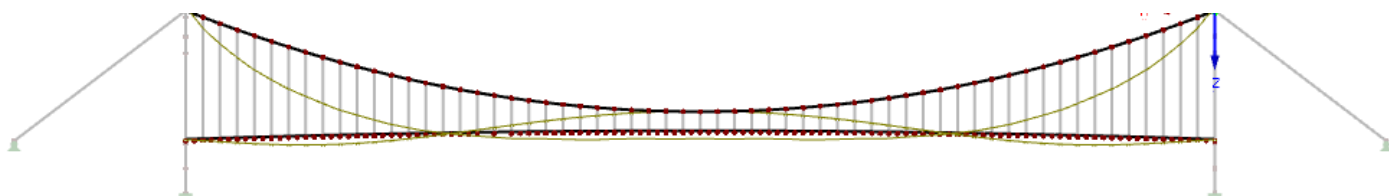
Obrázek 37: Globální deformace modelu č. 1



Obrázek 38: Globální deformace modelu č. 5

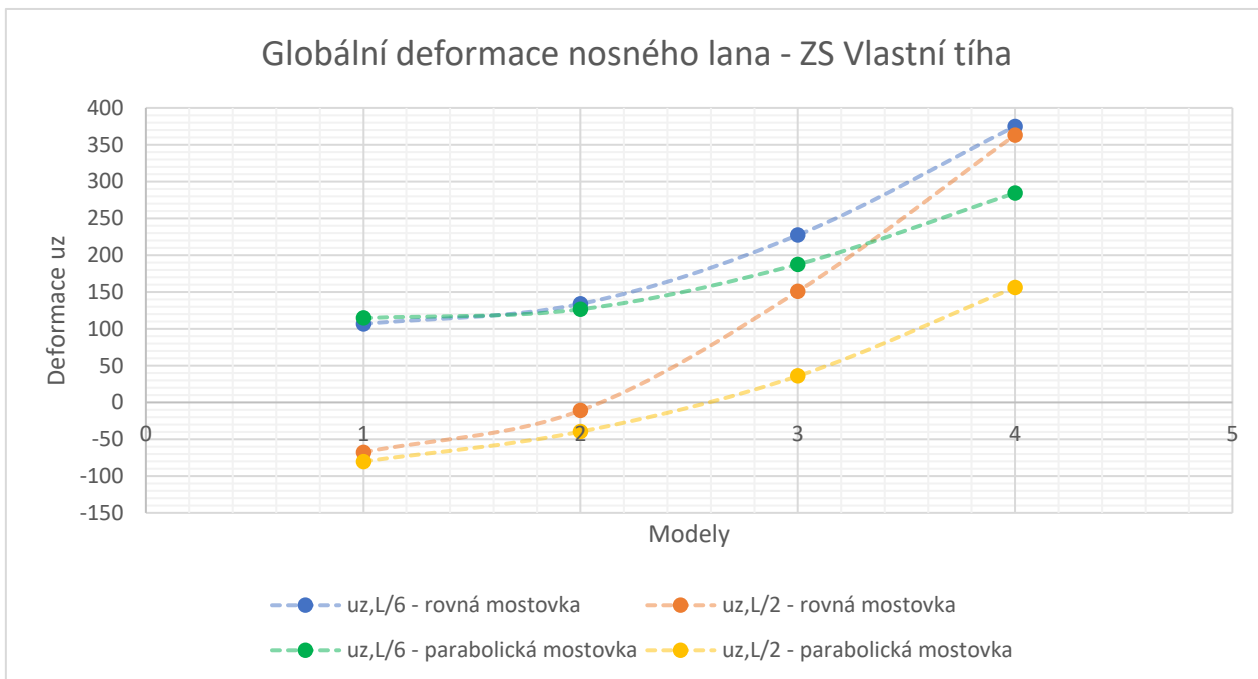


Obrázek 39: Globální deformace modelu č. 4

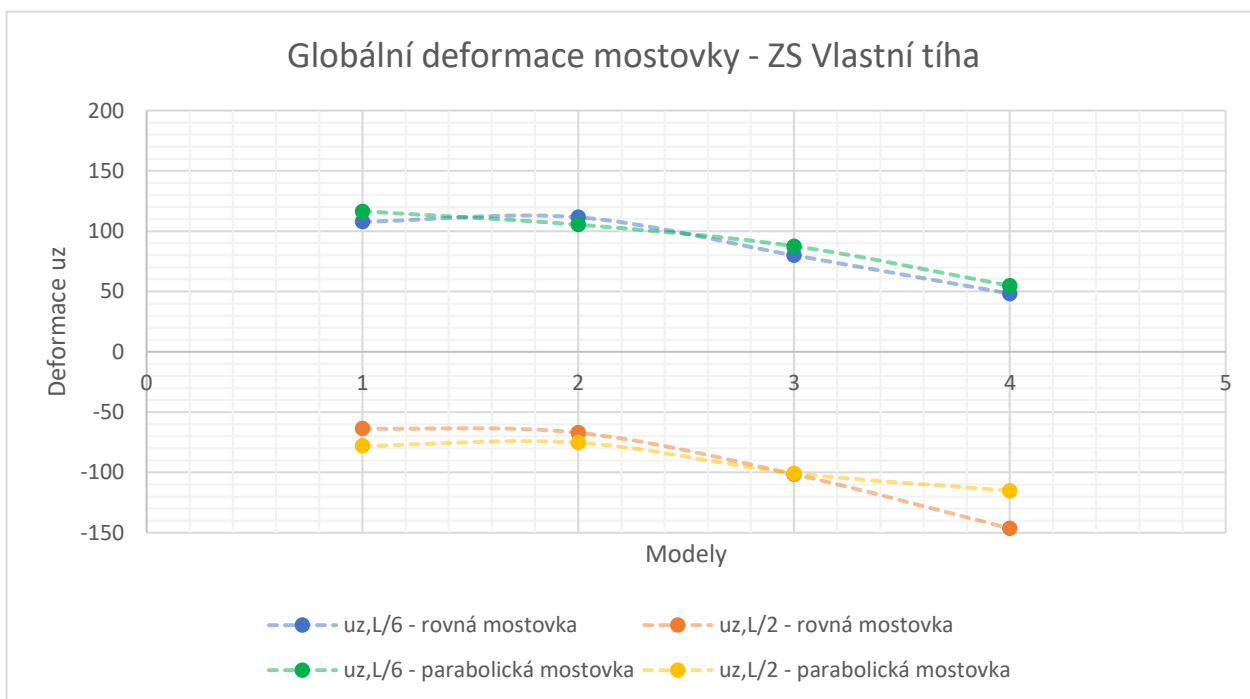


Obrázek 40: Globální deformace modelu č. 8

➤ VYHODNOCENÍ:



Graf 2: Globální deformace nosného lana - ZS Vlastní tíha



Graf 3: Globální deformace mostovky - ZS Vlastní tíha

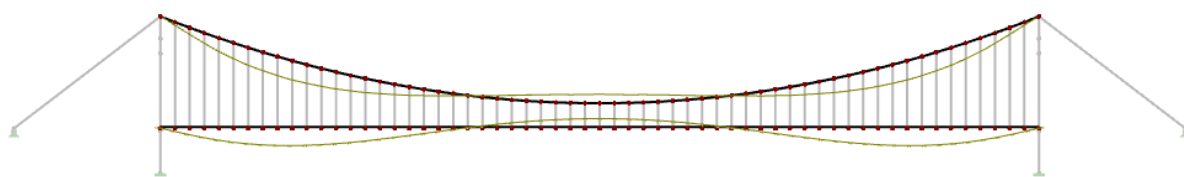
9.2 Kombinace jednotlivých zatěžovacích stavů

GLOBÁLNÍ DEFORMACE - NOSNÉ LANO u_z [mm]													
Vlastní tíha		Vlastní tíha + 1 zatěžovací stav											
		Větr			Teplota +			Teplota -			Chodci 1		
		$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	U _{z,I/2} servisní vozidlo
1	106,5	-67,7	121,0	-57,8	123,8	-61,7	121,5	-55,5	125,3	-22,8	67,3	83,6	103,3
2	133,8	-11,0	156,7	-0,8	152,4	-3,7	150,6	-0,3	150,5	26,5	90,6	135,3	131,6
3	227,3	150,8	250,4	163,4	244,5	155,8	244,5	170,2	242,0	174,9	211,2	287,7	245,2
4	374,9	363,1	409,8	376,9	394,6	380,7	392,6	383,7	366,9	371,2	324,8	489,7	371,0
5	114,5	-80,3	131,5	-70,1	133,2	-78,4	129,7	-66,9	132,8	-34,6	96,6	12,6	111,4
6	126,5	-39,7	149,2	-27,0	145,5	-34,6	141,8	-25,3	143,2	0,0	81,2	110,0	123,1
7	187,5	35,8	219,3	49,3	208,7	45,2	203,7	52,1	195,7	62,4	141,2	175,2	184,6
8	284,3	156,1	320,7	178,2	307,7	176,4	302,9	178,0	280,6	171,4	240,7	287,1	283,8

GLOBÁLNÍ DEFORMACE - MOSTOVKA u_z [mm]													
Vlastní tíha		Vlastní tíha + 1 zatěžovací stav											
		Větr			Teplota +			Teplota -			Chodci 1		
		$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/6}$	$U_{z,I/2}$	U _{z,I/2} servisní vozidlo
1	107,8	-63,6	122,1	-55,2	125,1	-56,5	123,6	-50,2	128,0	-16,6	66,2	90,2	105,6
2	111,5	-67,1	133,4	-51,0	129,5	-57,9	128,8	-54,1	135,7	-14,0	70,8	94,5	110,2
3	80,0	-101,5	110,1	-76,7	105,4	-97,2	95,4	-80,1	114,3	-29,1	36,8	84,3	79,1
4	48,3	-146,4	86,9	-113,1	70,1	-129,4	70,7	-122,5	96,3	-45,7	4,0	77,4	48,8
5	116,5	-78,0	131,9	-70,5	135,3	-75,3	132,7	-63,6	135,3	-30,5	100,1	16,5	114,6
6	105,4	-75,3	127,4	-59,4	123,9	-70,4	122,4	-59,0	127,5	-20,9	63,1	90,4	103,6
7	87,6	-100,6	117,5	-77,8	107,4	-94,4	107,2	-80,7	118,8	-27,4	44,0	82,5	86,7
8	54,8	-115,2	93,0	-83,1	75,7	-99,5	78,6	-87,2	101,3	-11,6	9,2	115,6	55,1

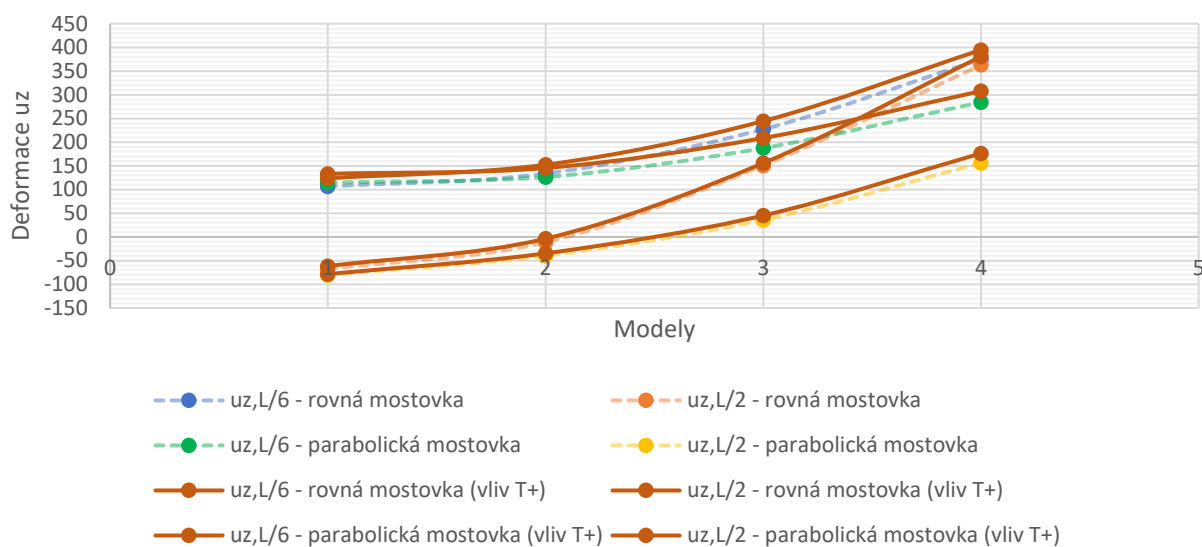
Tabulka 10: Hodnoty globálních deformací od ZS

9.2.1 Vlastní tíha + teplota



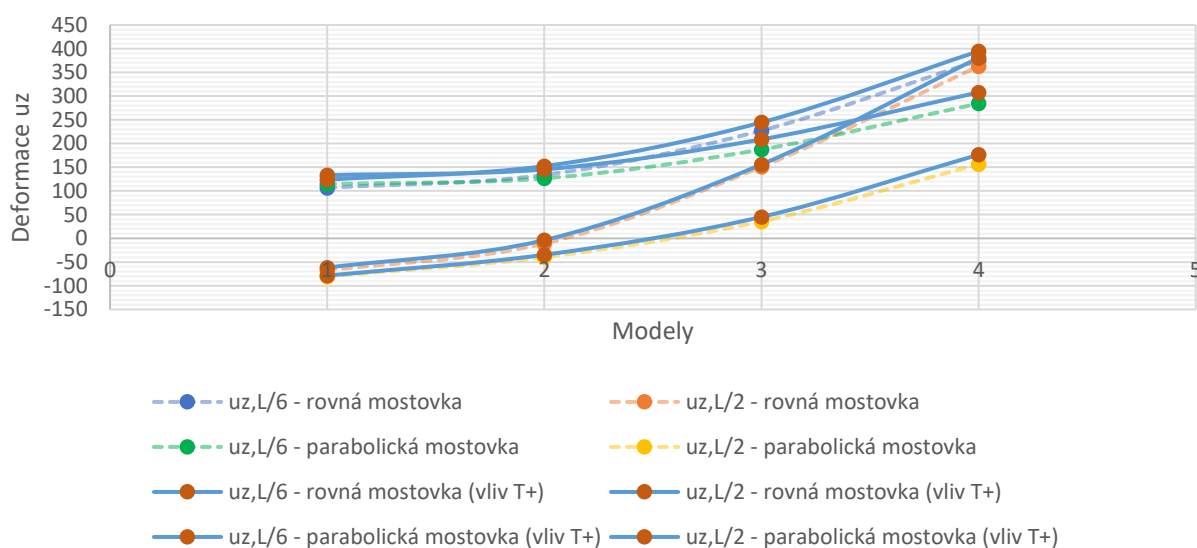
Obrázek 41: Globální deformace modelu č. 1 od $T_c = 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Globální deformace nosného lana - ZS Vlastní tíha + teplota (oteplení)

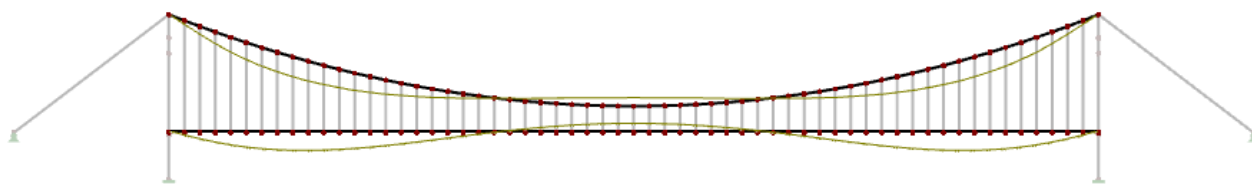


Graf 4: Globální deformace nosného lana - vliv oteplení

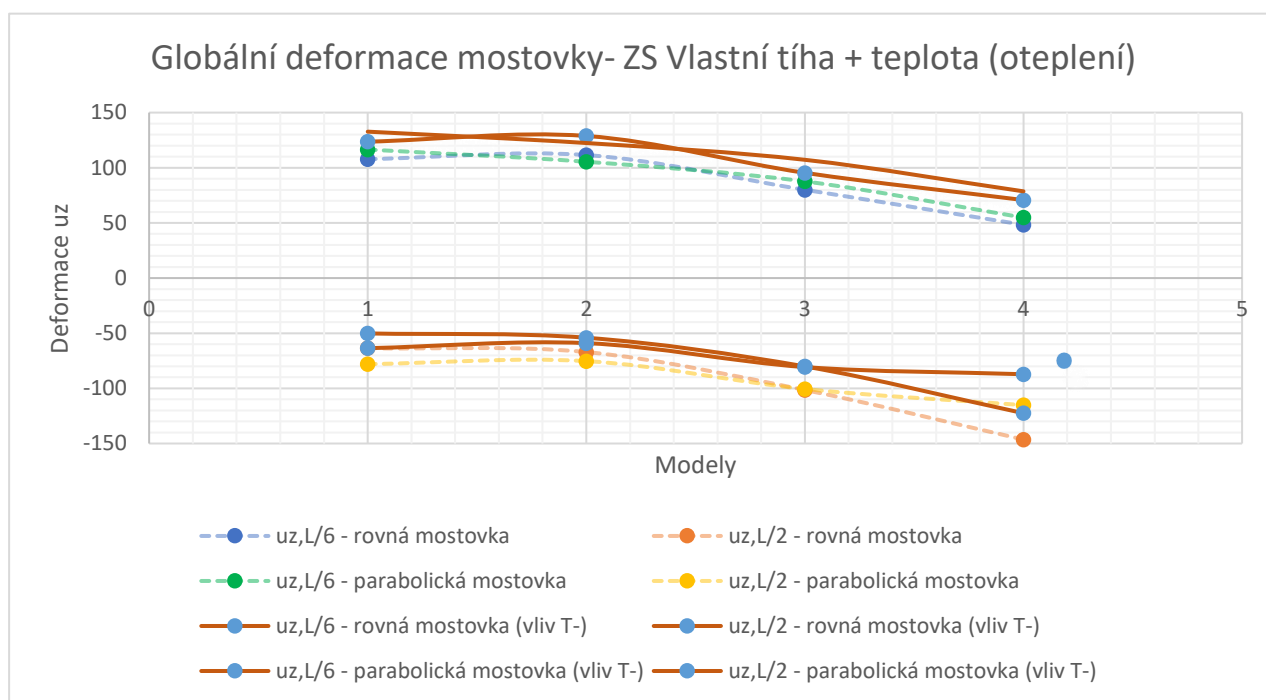
Globální deformace nosného lana - ZS Vlastní tíha + teplota (ochlazení)



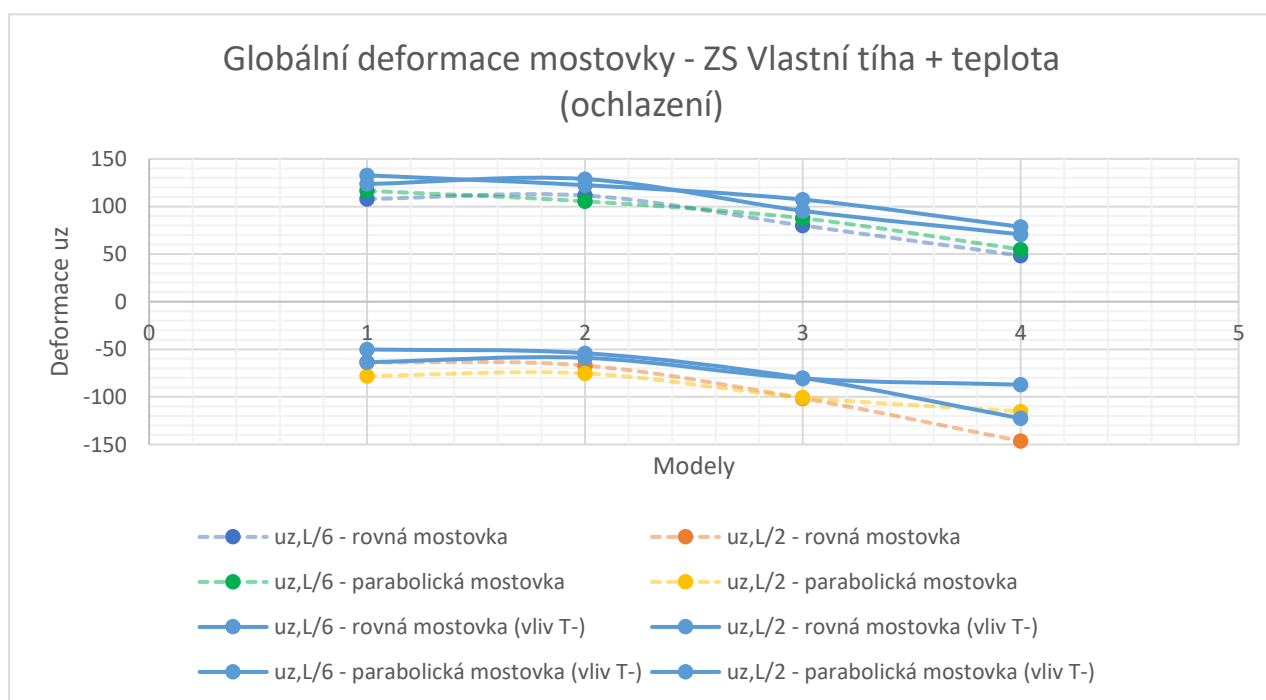
Graf 5: Globální deformace nosného lana - vliv ochlazení



Obrázek 42: Globální deformace modelu č. 1 od $T_c = -20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

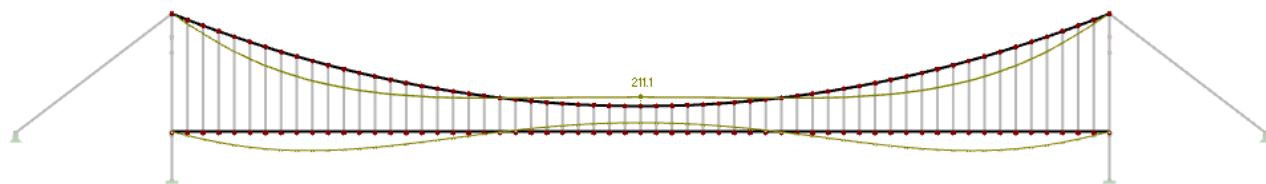


Graf 6: Globální deformace mostovky - vliv oteplení

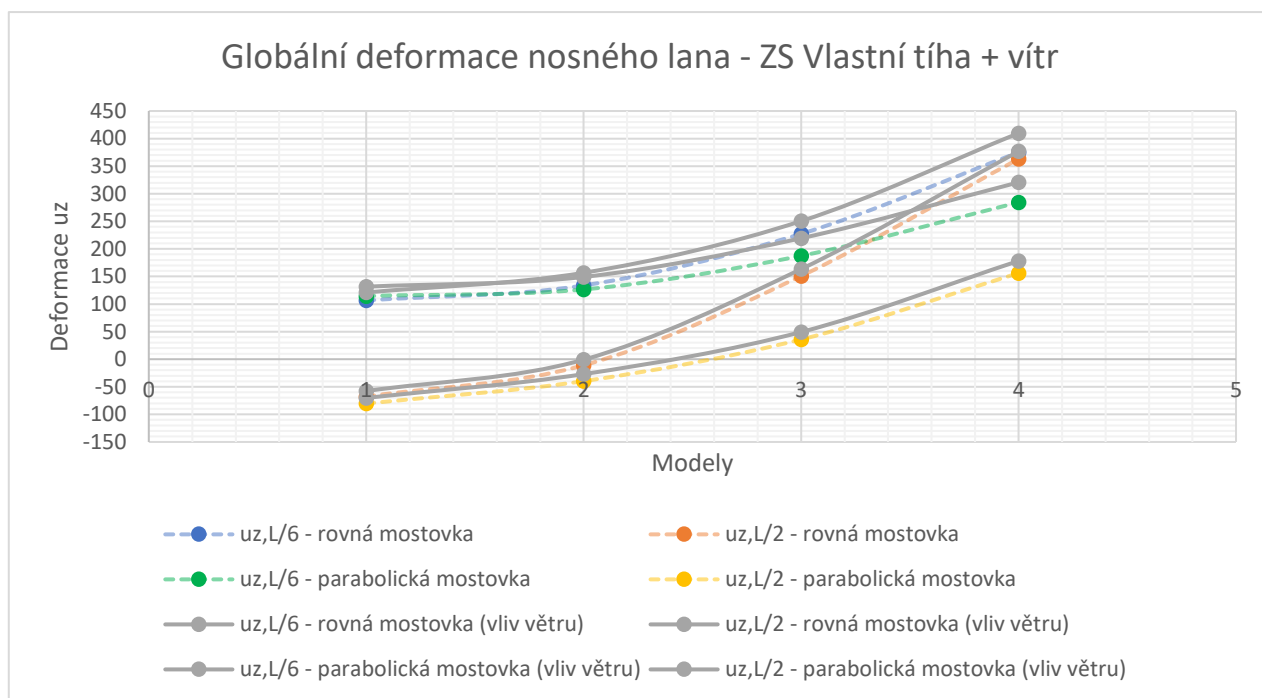


Graf 7: Globální deformace mostovky - vliv ochlazení

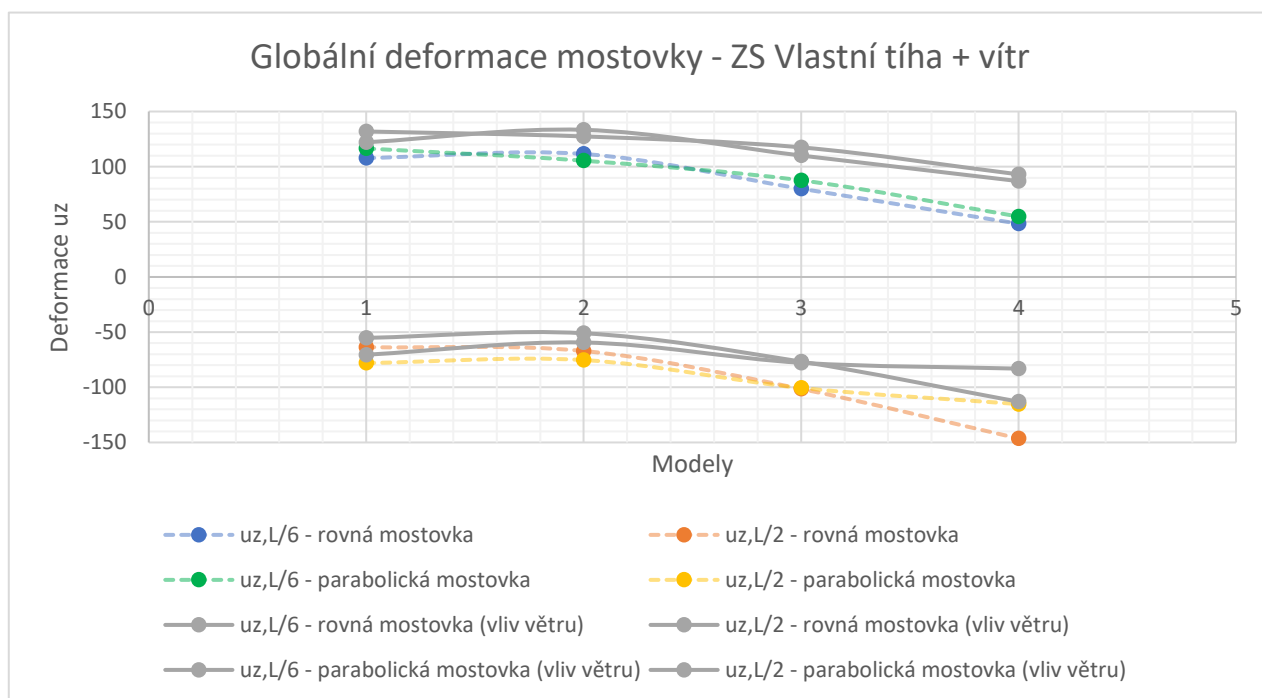
9.2.2 Vlastní tíha + vítr



Obrázek 43: Globální deformace modelu č. 1 od větru

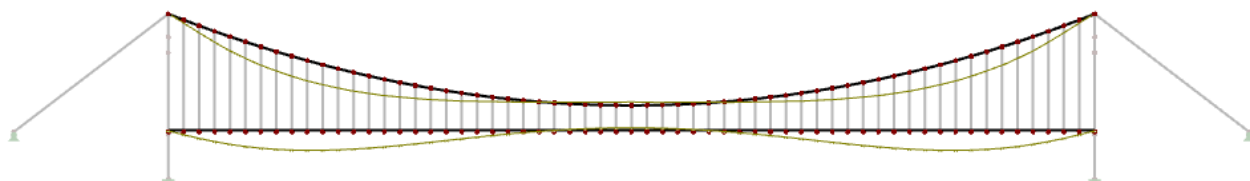


Graf 8: Globální deformace nosného lana - vliv větru

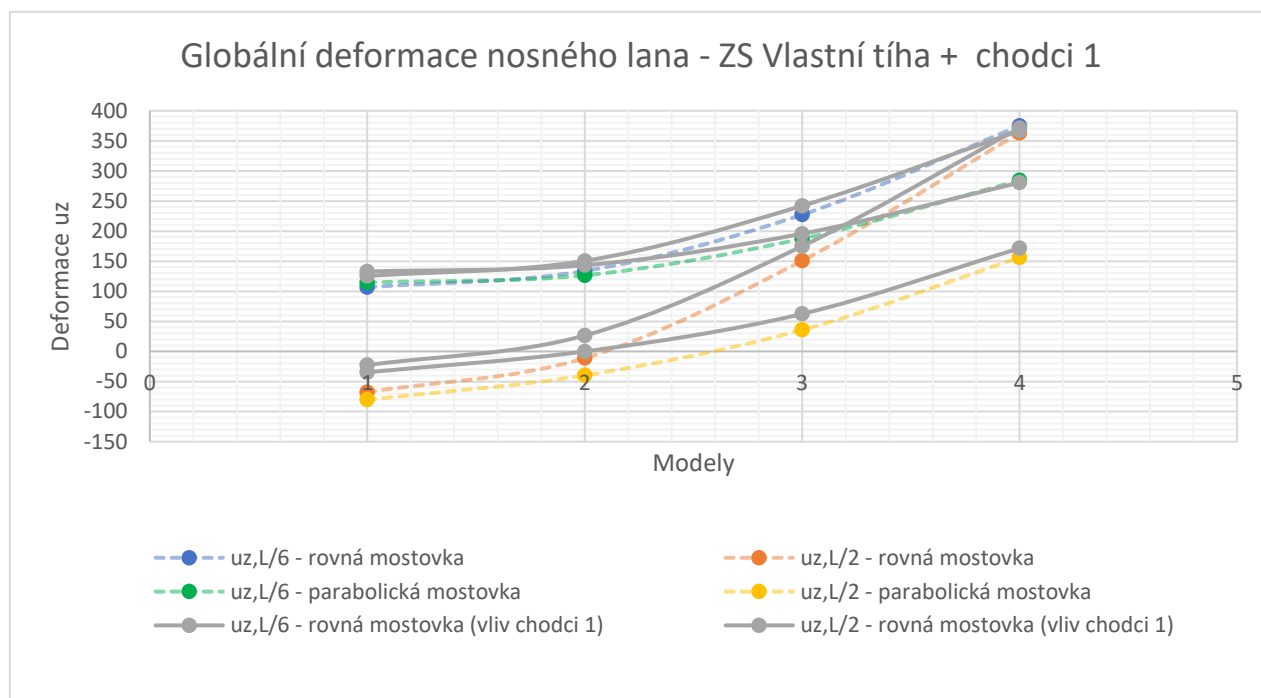


Graf 9: Globální deformace mostovky - vliv větru

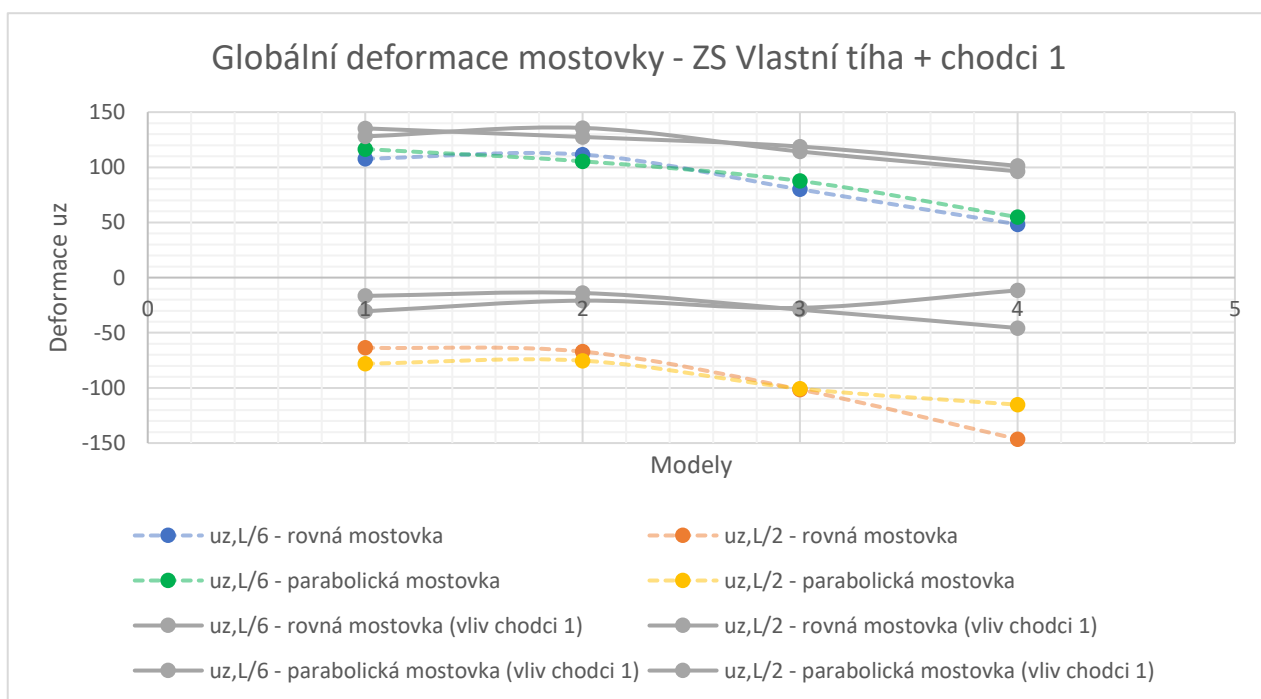
9.2.3 Vlastní tíha + chodci 1



Obrázek 44: Globální deformace modelu č. 1 od ZS chodci 1

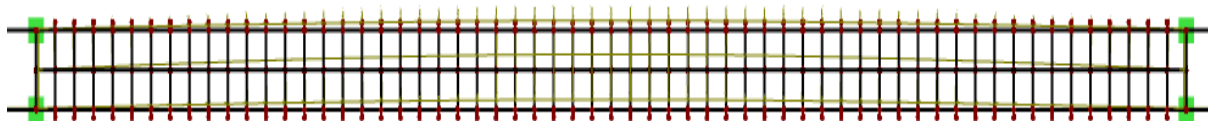


Graf 10: Globální deformace nosného lana - vliv zatěžovacího stavu Chodci 1

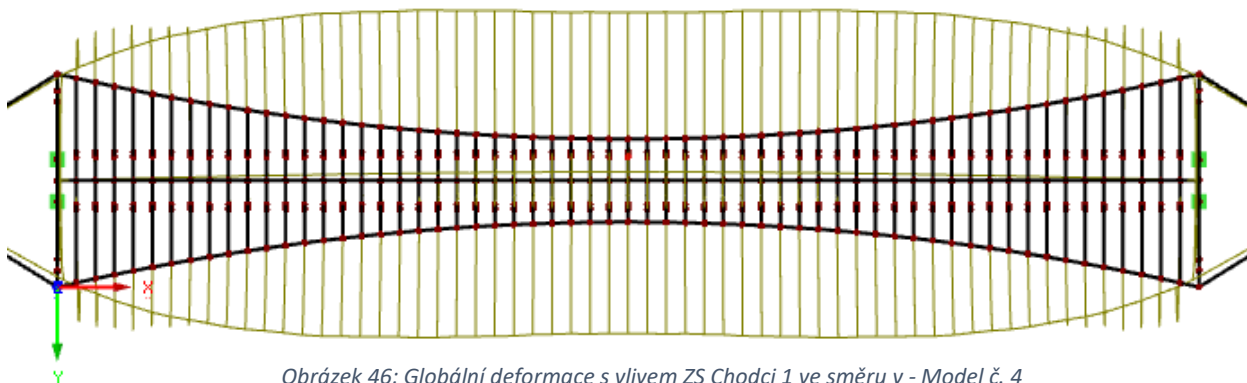


Graf 11: Globální deformace mostovky - vliv zatěžovacího stavu Chodci 1

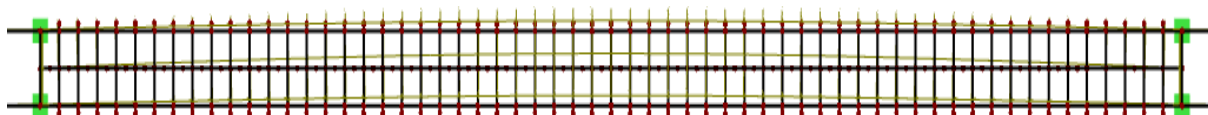
Zatížení od chodců způsobuje kvůli vodorovnému zatížení výrazné deformace u_y . Deformace jsou zobrazeny v měřítku 20:1. Na níže znázorněných obrázcích je půdorysný pohled.



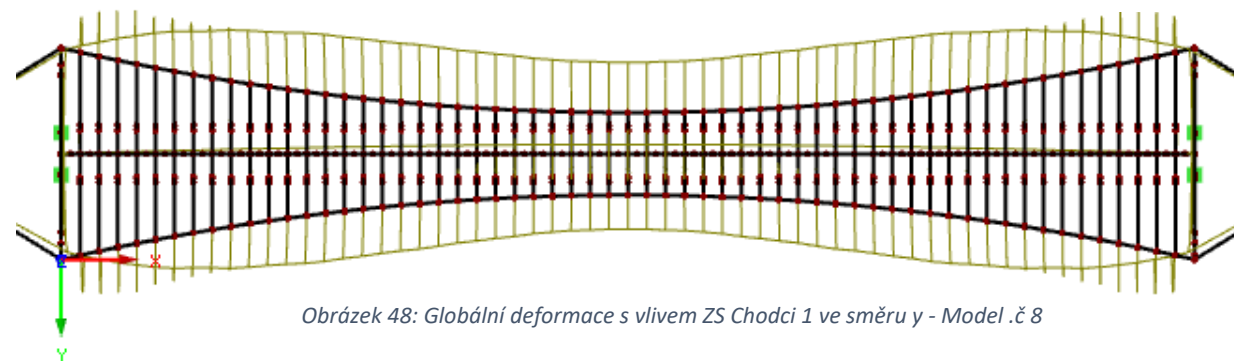
Obrázek 45: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model č. 1



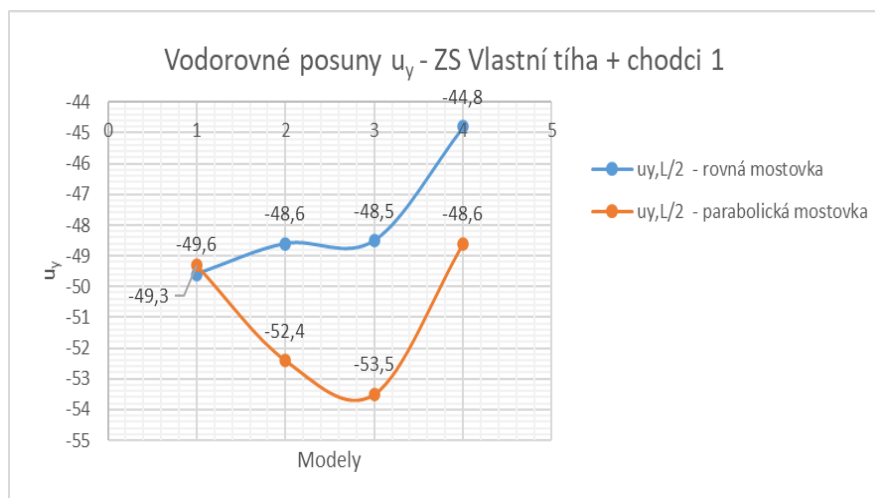
Obrázek 46: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model č. 4



Obrázek 47: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model č. 5



Obrázek 48: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model .č 8

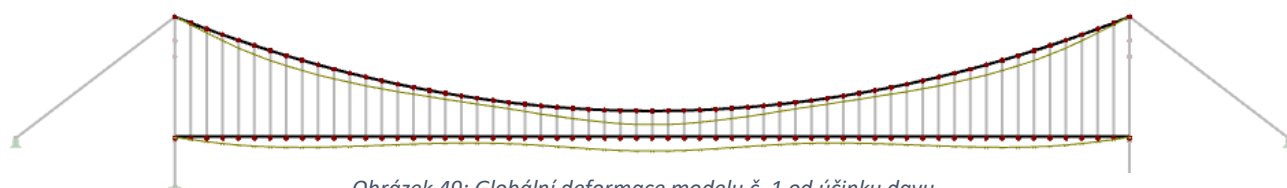


Graf 12: Závislost u_y na modelech – vliv ZS Chodci 1

	$u_{y,L/2}$
1	-49,6
2	-48,6
3	-48,5
4	-44,8
5	-49,3
6	-52,4
7	-53,5
8	-48,6

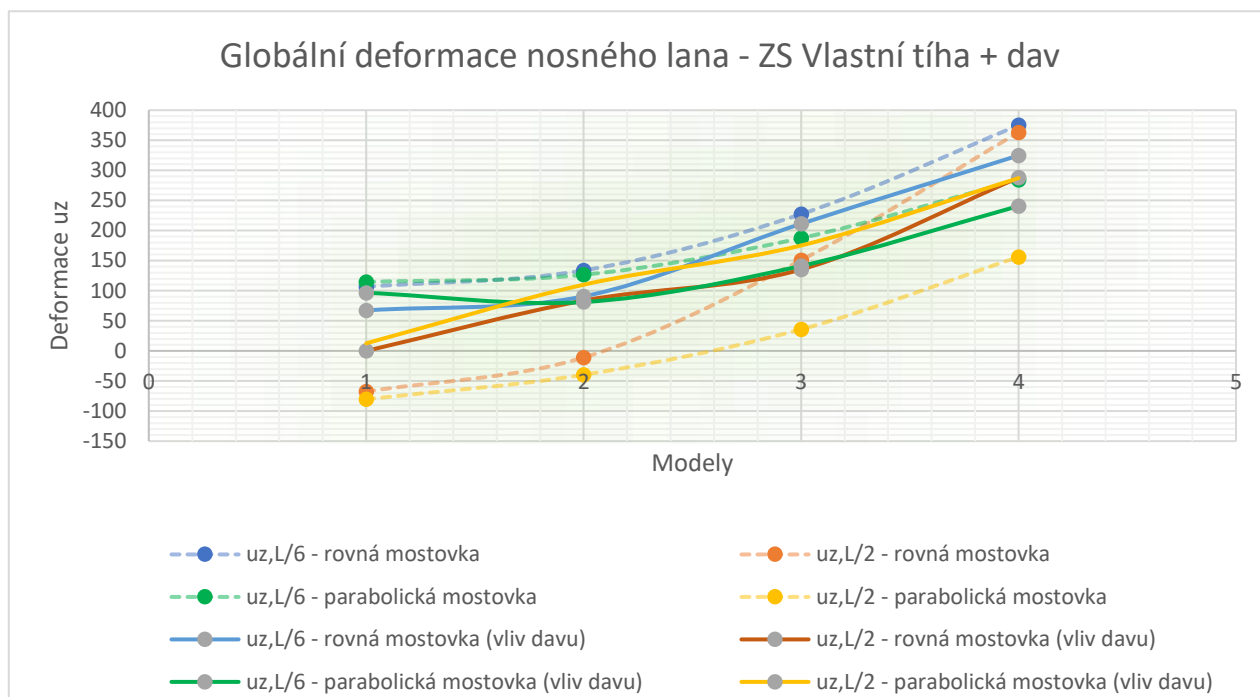
Tabulka 11: Hodnoty vodorovných posunů u_y s vlivem ZS Chodci 1

9.2.4 Vlastní tíha + davový účinek

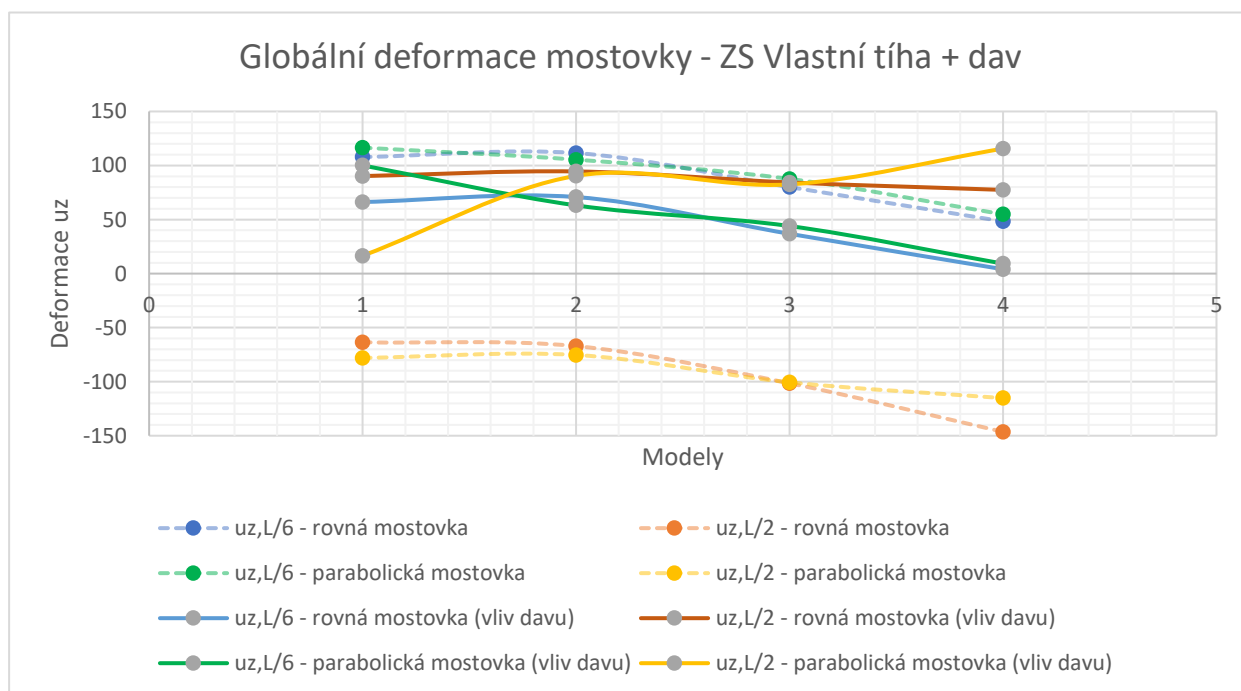


Obrázek 49: Globální deformace modelu č. 1 od účinku davu

- svislé deformace u_z

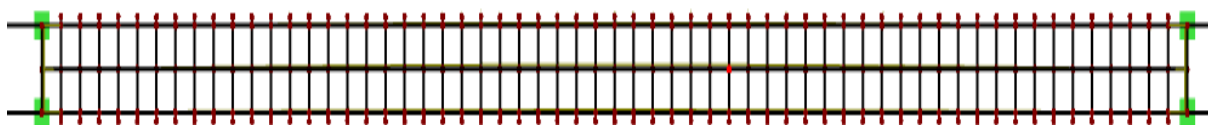


Graf 13: Globální deformace nosného lana - vliv davu

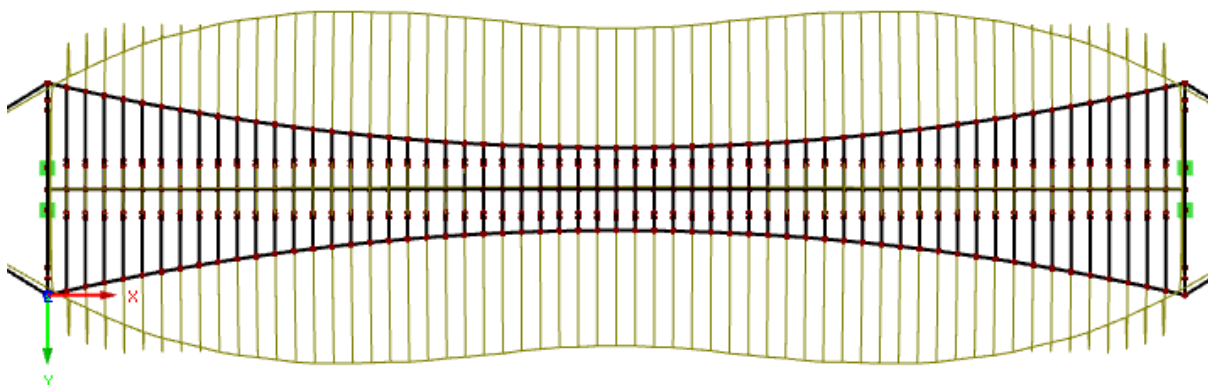


Graf 14: Globální deformace mostovky - vliv davu

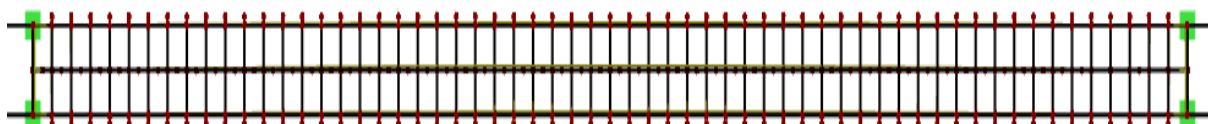
- vodorovné deformace u_y



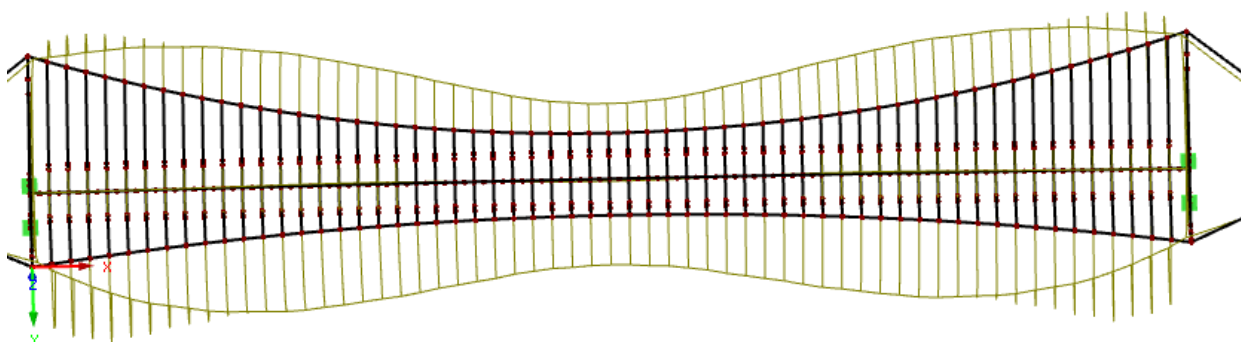
Obrázek 50: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 1



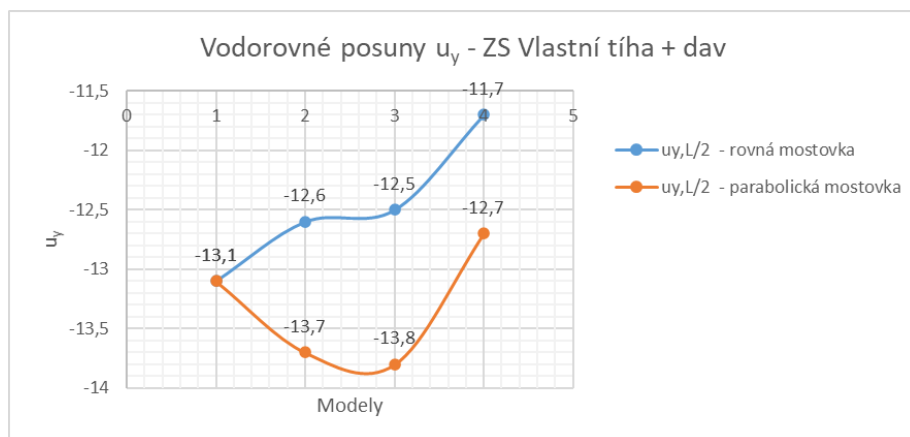
Obrázek 51: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 4



Obrázek 52: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 5



Obrázek 53: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 8

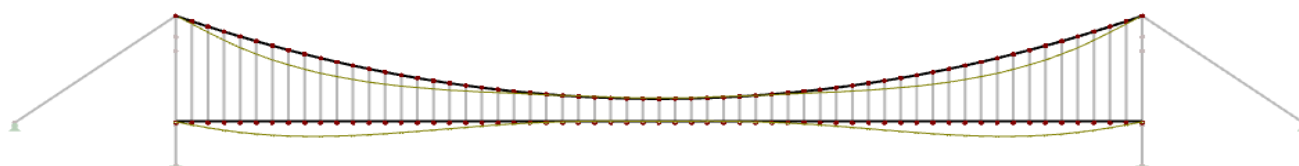


Graf 15: Závislost u_y na modelech - vliv davu

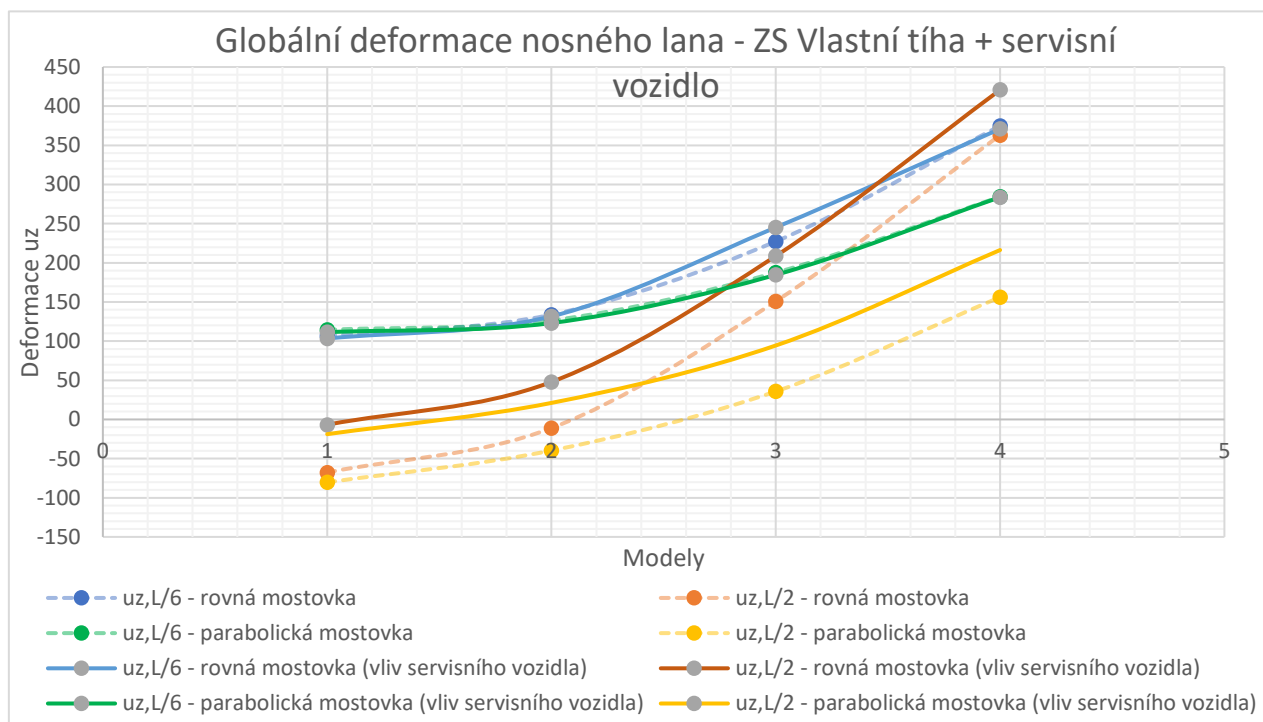
	$u_{y,L/2}$
1	-13,1
2	-12,6
3	-12,5
4	-11,7
5	-13,1
6	-13,7
7	-13,8
8	-12,7

Tabulka 12: Hodnoty vodorovných posunů u_y s vlivem davu

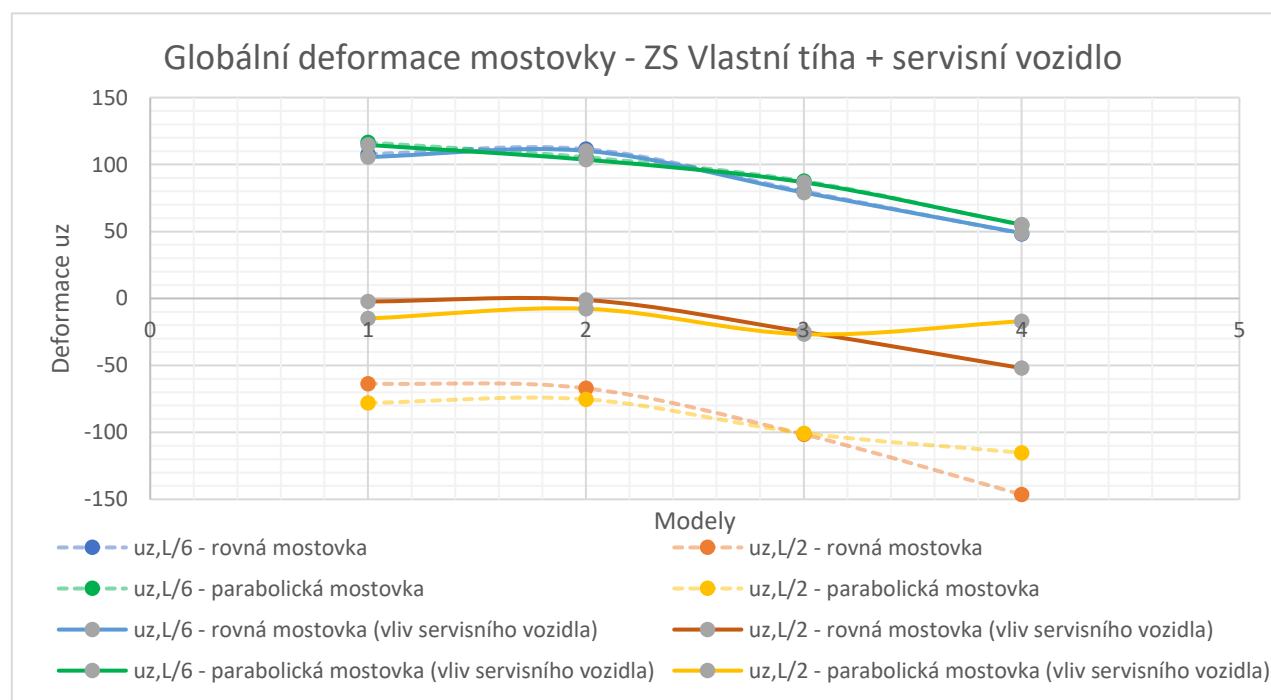
9.2.5 Vlastní tíha + servisní vozidlo



Obrázek 54: Globální deformace modelu č. 1 od účinku servisního vozidla



Graf 16: Globální deformace nosného lana - vliv servisního vozidla



Graf 17: Globální deformace mostovky - vliv servisního vozidla

10 Optimalizace

V rámci prohloubení znalostí byla v rámci bakalářské práce vytvořena optimalizace na modelu č. 1. Cílem celé optimalizace bylo získat téměř nulové deformace od vlastní tíhy. Při postupu optimalizace byly využity spočítané deformace z programu RFEM na prvním modelu. K deformacím od vlastní tíhy s výše zmíněnými hodnotami $u_{z,max} = 106,5 \text{ mm}$ a $u_{z,min} = -67,7 \text{ mm}$ byly postupně přičítány dané průvěsy f v jednotlivých řezech ve směru osy x . Hodnoty průvěsů jsou zároveň souřadnicemi horních uzlů závěsů v programu RFEM. Po sečtení deformace uzlu s průvěsem v uzlu dostaneme novou z -tovou souřadnici horních uzlů závěsů. Následně byl proveden opět výpočet vlastní tíhy a vznikly nové menší deformace. Takhle bylo provedeno celkem 5 kroků, než bylo dosaženo přijatelných deformací a optimalizace mohla být považována za úspěšnou. Všechny kroky probíhaly laděním ručního výpočtu s programem RFEM. Za pomoci deformací z programu byli ručně přepočítány výsledky na nové průvěsy (souřadnice) a následně měněny z -tové souřadnice horních uzlů jednotlivých závěsů a s tím spojeného i nosného lana v programu. Optimalizace byla provedena pouze s deformacemi ve svislém směru.

x [m]	PŘED		PO	
	f [m]	u_z [mm]	f [m]	u_z [mm]
0	0,000	5,4	0,000	5,4
2	0,773	23,6	0,807	1,5
4	1,519	41,9	1,574	5,2
6	2,239	59,6	2,322	4,7
8	2,933	76,0	3,036	5,2
10	3,601	87,2	3,717	5,6
12	4,243	97,2	4,370	4,4
14	4,858	102,0	4,989	4,2
16	5,448	105,1	5,580	3,0
18	6,011	106,5	6,142	1,5
20	6,548	103,3	6,672	0,7
22	7,059	98,9	7,172	0,4
24	7,543	93,8	7,649	-1,8
26	8,001	84,7	8,091	-1,3
28	8,434	76,1	8,511	-3,1
30	8,840	64,1	8,896	-1,9
32	9,219	52,4	9,262	-3,3
34	9,573	41,3	9,599	-3,6
36	9,900	27,7	9,907	-2,9
38	10,201	16,0	10,193	-3,7
40	10,476	2,4	10,450	-3,1
42	10,725	-9,6	10,685	-3,6
44	10,948	-20,4	10,893	-3,3
46	11,144	-29,2	11,077	-3,4
48	11,315	-38,3	11,237	-4,0
50	11,459	-47,8	11,367	-2,7
52	11,576	-54,7	11,477	-2,9
54	11,668	-59,8	11,565	-3,8
56	11,734	-62,3	11,623	-2,7
58	11,773	-64,6	11,662	-3,7
60	11,786	-67,7	11,672	-2,8

Tabulka 13: Optimalizace

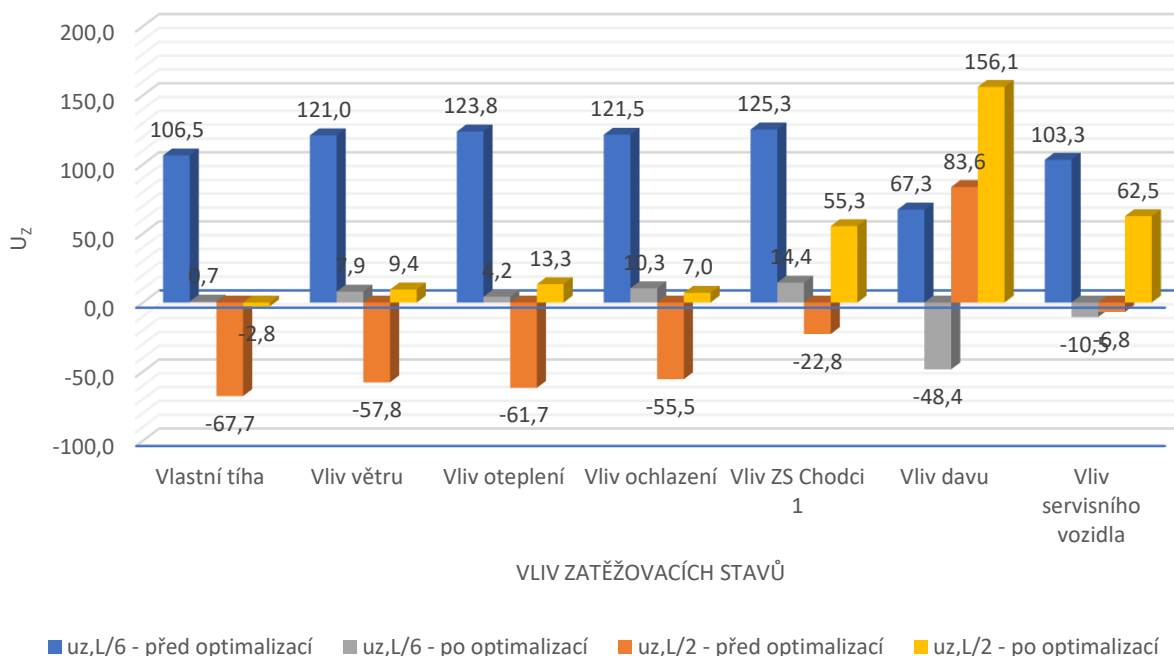
Jak je vidět v tabulce, z poměrně velkých deformací, které dosáhly průhybu 106,5 mm a nadzvednutí nosného lana na hodnotu 67,7 mm, bylo postupným laděním hodnot průvřesů dosaženo průhybu 5,6 mm a nadzvednutí pouze -4,0 mm. Vzhledem k minimálním hodnotám globálních deformací nosného lana po optimalizaci, můžeme říct, že výsledky deformací od vnějších zatížení (i kombinací) budou více odpovídat realitě.

10.1 Vliv ZS na nosné lano

NOSNÉ LANO				
	PŘED OPTIMALIZACÍ		PO OPTIMALIZACÍ	
	$u_{z,L/6}$ - před optimalizací	$u_{z,L/2}$ - před optimalizací	$u_{z,L/6}$ - po optimalizací	$u_{z,L/2}$ - po optimalizací
Vlastní tíha	106,5	-67,7	0,7	-2,8
Vliv větru	121,0	-57,8	7,9	9,4
Vliv oteplení	123,8	-61,7	4,2	13,3
Vliv ochlazení	121,5	-55,5	10,3	7,0
Vliv ZS Chodci 1	125,3	-22,8	14,4	55,3
Vliv davu	67,3	83,6	-48,4	156,1
Vliv servisního vozidla	103,3	-6,8	-10,5	62,5

Tabulka 14: Tabulka deformací na nosném laně (před/po optimalizaci)

Nosné lano - vliv zatěžovacích stavů (před/po optimalizaci)



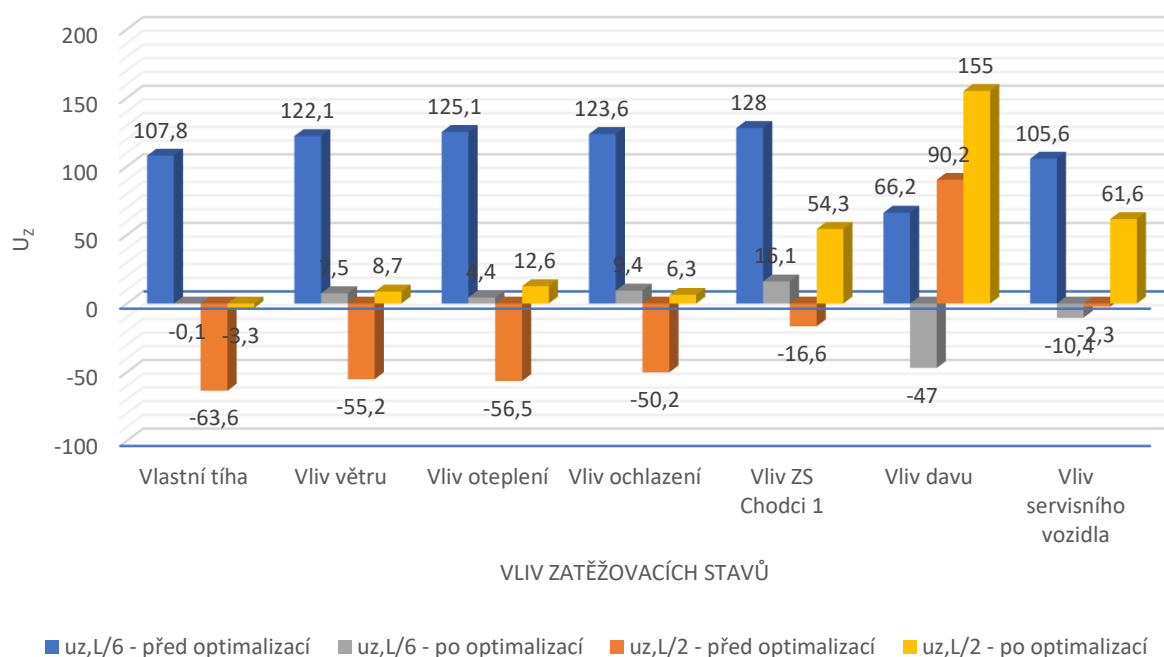
Graf 18: Vliv ZS na globální deformace nosného lana (před/po optimalizaci)

10.2 Vliv ZS na mostovku

	MOSTOVKA			
	PŘED OPTIMALIZACÍ		PO OPTIMALIZACÍ	
	$u_{z,L/6}$ - před optimalizací	$u_{z,L/2}$ - před optimalizací	$u_{z,L/6}$ - po optimalizací	$u_{z,L/2}$ - po optimalizací
Vlastní tíha	107,8	-63,6	-0,1	-3,3
Vliv větru	122,1	-55,2	7,5	8,7
Vliv oteplení	125,1	-56,5	4,4	12,6
Vliv ochlazení	123,6	-50,2	9,4	6,3
Vliv ZS Chodci 1	128	-16,6	16,1	54,3
Vliv davu	66,2	90,2	-47	155
Vliv servisního vozidla	105,6	-2,3	-10,4	61,6

Tabulka 15: Tabulka deformací na mostovce (před/po optimalizaci)

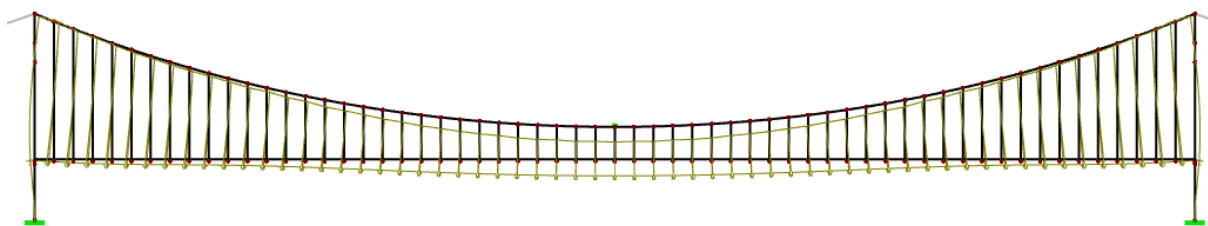
Mostovka - vliv zatěžovacích stavů (před a po optimalizaci)



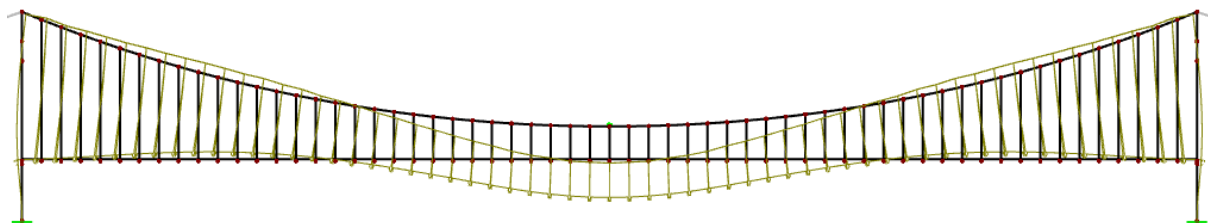
Graf 19: Vliv ZS na globální deformace mostovky (před/po optimalizaci)

10.3 Kombinace

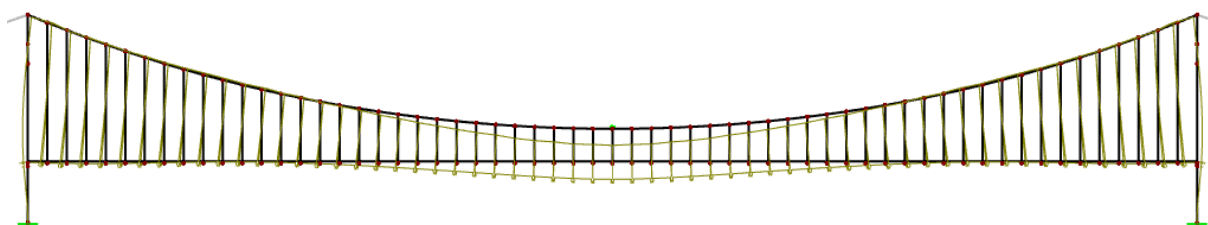
Pro lepší viditelnost malých deformací po optimalizaci bylo zvětšeno měřítko deformací z původních 20:1 na 50:1. Pro zhodnocení byly vybrány kombinace K1 (vítr, teplota, chodci 1), K5 (vítr, teplota, davový účinek) a K6 (vítr, teplota, servisní vozidlo).



Obrázek 55: Globální deformace po optimalizaci od K1



Obrázek 56: Globální deformace po optimalizaci od K5



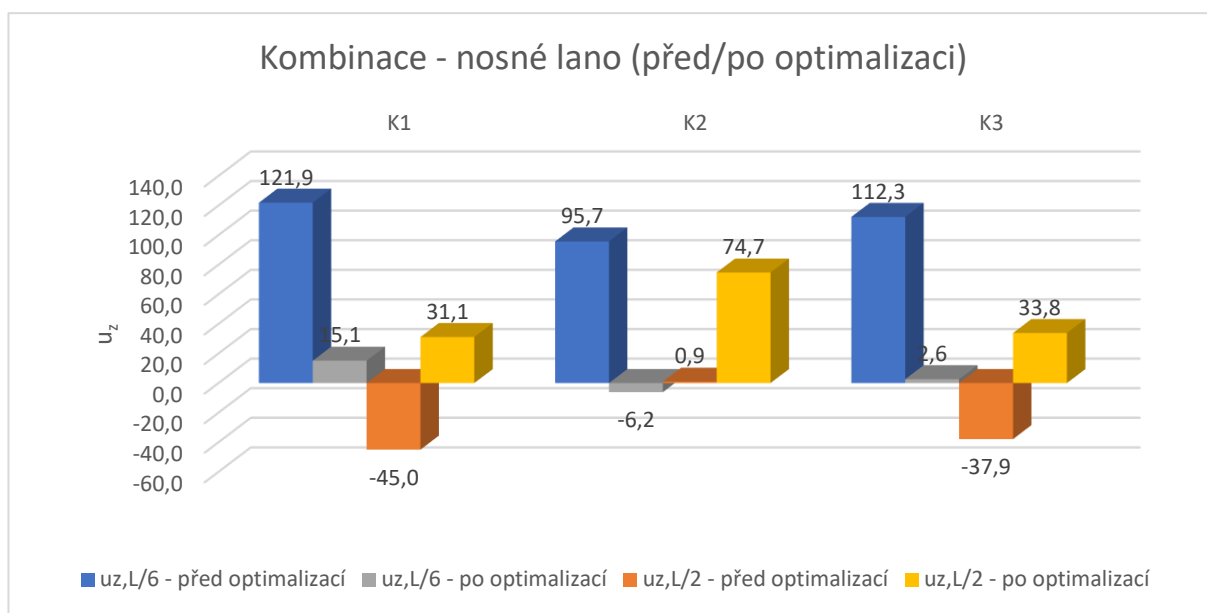
Obrázek 57: Globální deformace po optimalizaci od K6

NOSNÉ LANO				
	PŘED OPTIMALIZACÍ		PO OPTIMALIZACÍ	
	$u_{z,L/6}$ - před optimalizací	$u_{z,L/2}$ - před optimalizací	$u_{z,L/6}$ - po optimalizací	$u_{z,L/2}$ - po optimalizací
K1	121,9	-45,0	15,1	31,1
K2	95,7	0,9	-6,2	74,7
K3	112,3	-37,9	2,6	33,8

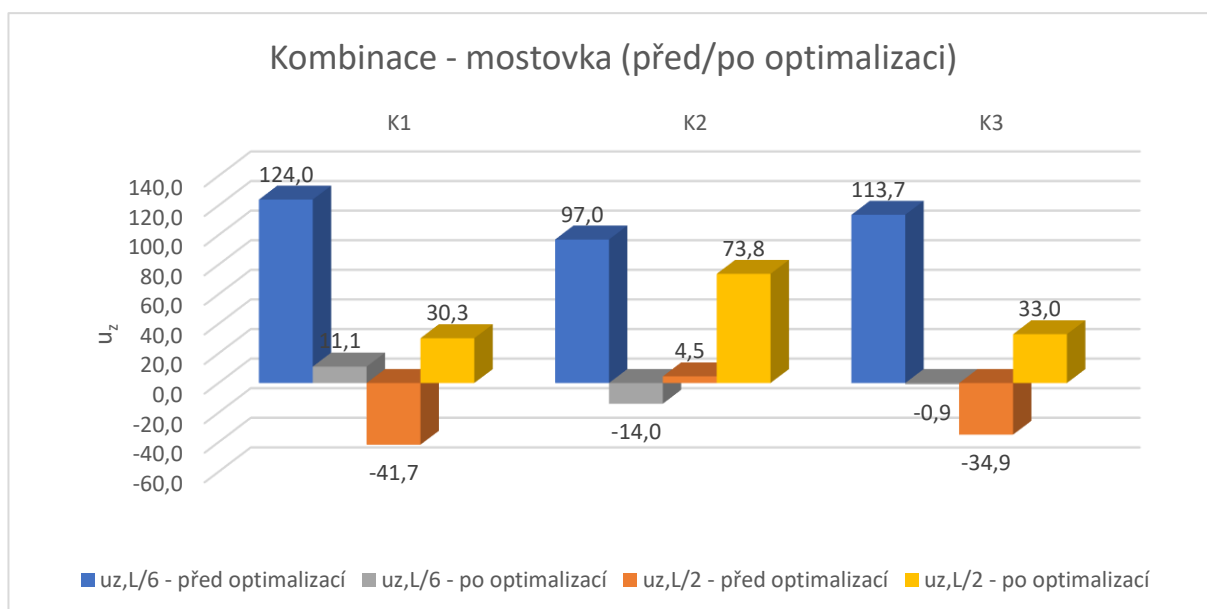
Tabulka 16: Tabulka deformací od kombinací na nosném laně

MOSTOVKA				
	PŘED OPTIMALIZACÍ		PO OPTIMALIZACÍ	
	$u_{z,L/6}$ - před optimalizací	$u_{z,L/2}$ - před optimalizací	$u_{z,L/6}$ - po optimalizací	$u_{z,L/2}$ - po optimalizací
K1	124,0	-41,7	11,1	30,3
K2	97,0	4,5	-14,0	73,8
K3	113,7	-34,9	-0,9	33,0

Tabulka 17: Tabulka deformací od kombinací na mostovce



Graf 20: Globální deformace při jednotlivých kombinacích - nosné lano



Graf 21: Globální deformace při jednotlivých kombinacích - mostovka

11 Závěr

Úkolem této práce byla statická analýza několika variant visuté lávky pro pěší, jejichž odlišnost spočívá v pylonech. Celá práce byla zpracována ve formě studie. Byly navrženy 4 hlavní varianty, které se liší v odklonu pylonů. Každá varianta byla zpracována ve 2 obměnách mostovek – rovná a parabolická. Celkem byly tedy navrženy modely v 8 provedeních.

Ručním výpočtem byla stanovena geometrie nosného lana, která se po zatížení ustálila na hledaných průvsech 11,786 m u rovné mostovky a 11,790 m u parabolické mostovky. S ohledem na nově vzniklé průvěsy byly namodelovány varianty v programu RFEM.

Ze všech variant navržených modelů byl vybrán model č. 1, který byl zvolen pro kontrolu ručního výpočtu s výpočtem z programu RFEM. Abychom docílili přesnosti porovnání, byl zatěžovací stav vlastní tíha zatížen zkrácením lana, protože ručně získané reakce byly počítány s původním předběžným průvěsem 12,000 m. Odchylka ve výslednicích je 0,995 %, což je více než přijatelné.

Výstupem této práce je posouzení vlivu odklonu pylonů na globální deformace nosného lana a mostovky při vlivu jednotlivých zatěžovacích stavů a kombinací. Z výsledných globálních deformací ve svislém směru z lze říci, že vlastní tíha model s parabolickou mostovkou nosné lano více nadzvedává než model s rovnou mostovkou. Co se týče vlivu odklonu pylonů, je u obou mostovek zřejmé, že čím větší odklon pylonů, tím jde globální deformace nosného lana z vyrovnané deformace (na krajích se prohýbá a v polovině nadzvedává) do velkého průhybu po celém rozpětí. Z globálních deformací od vlastní tíhy můžeme konstatovat, že parabolická mostovka při nulovém odklonu pylonů je výrazně více uprostřed nadzvedávána, oproti rovné mostovce. Čím zvětšujeme odklon pylonů, deformace jdou do většího průhybu, jak u rovné, tak u parabolické mostovky. Obecně lze říci, že vnější klimatická zatížení, která byla sledována, a rovnoměrné zatížení chodců po celé lávce, nosné lano více prohýbá. Výjimku tvoří modely č. 4 a 8, kde se nosné lano od zatěžovacího stavu „chodci 1“ v jedné šestině mírně začne nadzvedávat (o 8 mm a 4 mm). Účinek davu nosné lano v jedné šestině nadzvedává, ale v polovině se výrazně dostává do úměrného průhybu vzhledem k modelovanému zatížení. Servisní vozidlo v jedné šestině defacto neovlivní deformaci oproti vlastní tíze a v polovině rozpětí vyvolá průhyb. S ohledem na svislé deformace na mostovce je vidět stejné chování od vnějších klimatických vlivů, jako u nosného lana – oproti vlastní tíze se mostovka více prohýbá. Tentokrát zatěžovací stav „chodci 1“, oproti nosnému lanu, prohýbá mostovku ve všech odklonech pylonů. Stejně jako u nosného lana, působí davový účinek na mostovku na začátku rozpětí nadzvedáním a v polovině prohýbáním. Po zatížení lávky servisním vozidlem, se v jedné šestině deformace téměř nezmění a v polovině se prohne. U modelů č. 1, 2 a 6 po zatížení servisním vozidlem dosáhneme téměř nulových deformací v polovině rozpětí. Přesně nulové deformace nosného lana dosáhne i model č. 6 po zatížení plnými chodci v polovině rozpětí lávky.

Během zhodnocení vlivu odklonů pylonů na deformace byl také dokázán pozitivní účinek, který byl očekáván. Pylony s odklonem 0° mají větší vodorovné deformace, než pylony s největším modelovaným odklonem 30° . U rovné mostovky platí, že čím větší odklon pylonů, tím menší vodorovné posuny. Modely lávky s odklony o 10° a 20° jsou z hlediska vodorovných deformací u_y prakticky stejné. Překvapivým zjištěním bylo, že největší vodorovné deformace se odehrávají na modelech s parabolickou mostovkou v odklonech 10° a 20° .

Dále byla provedena optimalizace na modelu č. 1, kde byly převzaty vypočítané deformace a sčítány se souřadnicemi horních uzlů závěsů (uzlů polylinie nosného lana). Následně byly pomocí získaných hodnot, v 5 opakovaných krocích, postupně opravovány jejich souřadnice, než bylo dosaženo přijatelných deformací. Z výsledků je zřejmé, že po zatížení jednotlivými zatěžovacími stavy se nosné

lano i mostovka prohýbá po celé délce lávky. Toto neplatí pouze u vlivu davu a servisního vozidla, kde se uprostřed prohýbá, ale v krajních polích nadzvedává. Na zoptimalizovaném modelu č. 1 bylo provedeno několik kombinací, z nichž byly vybrány výše uvedené 3 kombinace, které byly zhodnoceny. Zatížením lávky vybranými kombinacemi zatížení se vždy z původně prohnutých krajních polí a nadzvednutých středních částí, stane v polovině rozpětí přesný opak – průhyb.

Po zhodnocení vlivu odklonu pylonů lze říci, že každá varianta má své klady a zápory. Při volbě je vhodné posoudit individuálně každou návrhovou situaci. Obecně lze konstatovat, že pokud je očekáváno větší vodorovné zatížení – např. od chodců, větru – odolávají tomuto zatížení nejlépe modely s odklonem pylonů 30° . Přičemž menší vodorovné posuny se odehrávaly u rovné mostovky. Při návrhu variant s největším modelovaným odklonem pylonů je nutné vzít v úvahu prostorovou náročnost, kterou tyto varianty vyžadují. Odklon pylonů, závěsů a nosného lana zajistí větší tuhost konstrukce vůči vodorovnému zatížení a konstrukce je tak stabilnější. Nevýhodou velkých odklonů jsou velké průhyby. Pokud je tedy očekáváno naopak převažující svislé zatížení, je lepší navrhnout variantu se svislými pylony.

12 Seznam použitých zdrojů

- [1] *DLUBAL Software: Stahování a informace* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/manualy>
- [2] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí*. 3. vyd. Brno: Vutium, 2010 [i. e. 2007]. ISBN 978-80-214-3419-6.
- [3] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. 3. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.
- [4] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990*. 3. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [5] *ČSN EN 1991-1-1 (730035): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [6] *ČSN EN 1991-1-3 (730035): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] *ČSN EN 1991-1-4 (730035): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] *ČSN EN 1991-1-5 (730035): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [9] *ČSN EN 1991-2 (736203): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [10] NEČAS, Radim. *Betonové mosty I*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav betonových konstrukcí, 17.3.2021. Přednáška
- [11] *OCELAŘ.CZ: Ostatní - Zatížení větrem dle EC* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <http://steelcalc.com/cs/MapaVetrnychOblastiCR.aspx>
- [12] *KOKTEJL: Lidé a příroda* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <https://www.ikoktejl.cz/lide-a-priroda/co-jste-nevedeli-o-golden-gate-bridge/>
- [13] *Stráský, Hustý a partneři: Projekty - Mosty* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <http://www.shp.eu/strasky-husty-a-partneri/projekty/mosty/lavky-pro-pesi/visute-konstrukce/lavka-pres-svycarskou-zatoku-vranovske-prehrady/>
- [14] Hradil, Petr. *Stavební mechanika*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav stavební mechaniky, 9.2.2021. Přednáška
- [15] KADLČÁK, Jaroslav. *Statika nosných lan visutých střech*. Praha, 1990. ISBN 8020002510

13 Seznam obrázků:

Obrázek 1: Schéma visutého mostu	12
Obrázek 2: Golden Gate Bridge	12
Obrázek 3: Visutá lávka u Vranovské přehrady	13
Obrázek 4: Rovinný vláknový polygon	13
Obrázek 5: Řetězovky	14
Obrázek 6: Schéma parabolické řetězovky	15
Obrázek 8: Schéma jednotlivých modelů v příčném směru	17
Obrázek 7: souřadnicový systém	17
Obrázek 9: Vstupní model č.1, 5	17
Obrázek 10: Vstupní model č.2, 6	18
Obrázek 11: Vstupní model č.3, 7	18
Obrázek 12: Vstupní model č.4, 8	18
Obrázek 13: Model č. 1, 5	24
Obrázek 14: Model č. 2, 6	25
Obrázek 15: Model č. 3, 7	25
Obrázek 16: Model č. 4, 8	25
Obrázek 17: Excentricity	26
Obrázek 18: Deformace paraboly	27
Obrázek 19: Mapa větrných oblastí	28
Obrázek 20: Směry zatížení větru	29
Obrázek 21: Součinitel sil bez vlivu proudění kolem volných konců	29
Obrázek 22: Rozdělení výšek pro zatížení větrem	30
Obrázek 23: Mapa maximálních teplot ve stínu pro ČR	31
Obrázek 24: Mapa minimálních teplot ve stínu pro ČR	32
Obrázek 25: Model dvojnápravy obslužného vozidla	33
Obrázek 26: ZS 1	34
Obrázek 27: ZS 2	34
Obrázek 28: ZS 3	34
Obrázek 29: ZS 4-2. část	34
Obrázek 30: ZS 4-1.část	34
Obrázek 31: ZS 5	35
Obrázek 32: ZS 6	35
Obrázek 33: ZS 7	35
Obrázek 34: ZS 8	35
Obrázek 35: ZS 9	35
Obrázek 36: ZS 10	36
Obrázek 37: Globální deformace modelu č. 1	37
Obrázek 38: Globální deformace modelu č. 5	37
Obrázek 39: Globální deformace modelu č. 4	37
Obrázek 40: Globální deformace modelu č. 8	38
Obrázek 41: Globální deformace model č. 1 od $T_c = 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	40
Obrázek 42: Globální deformace model č. 1 od $T_c = -20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	41
Obrázek 43: Globální deformace modelu č. 1 od větru	42
Obrázek 44: Globální deformace modelu č. 1 od ZS chodci 1	43
Obrázek 45: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model č. 1	44
Obrázek 46: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model č. 4	44

Obrázek 47: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model č. 5	44
Obrázek 48: Globální deformace s vlivem ZS Chodci 1 ve směru y - Model .č 8.....	44
Obrázek 49: Globální deformace modelu č. 1 od účinku davu	45
Obrázek 50: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 1.....	46
Obrázek 51: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 4.....	46
Obrázek 52: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model. č. 5.....	46
Obrázek 53: Globální deformace s vlivem davového účinku ve směru y - Model č. 8.....	46
Obrázek 54: Globální deformace modelu č. 1 od účinku servisního vozidla.....	47
Obrázek 55: Globální deformace po optimalizaci od K5	51
Obrázek 56: Globální deformace po optimalizaci od K1	51
Obrázek 57: Globální deformace po optimalizaci od K6	51

14 Seznam tabulek:

Tabulka 1: Vzepětí mostovky.....	16
Tabulka 2: Předběžné výsledky - rovná mostovka	22
Tabulka 3: Iterace - rovná mostovka	23
Tabulka 4: Předběžné výsledky - parabolická mostovka	23
Tabulka 5: Iterace - parabolická mostovka	24
Tabulka 6: Kategorie terénu	28
Tabulka 7: Výpočet zatížení větrem jednotlivých částí konstrukce	30
Tabulka 8: Kombinační součinitele.....	36
Tabulka 9: Přehled hlavních kombinací.....	37
Tabulka 10: Hodnoty globálních deformací od ZS.....	39
Tabulka 11: Hodnoty vodorovných posunů u_y s vlivem ZS Chodci 1	44
Tabulka 12: Hodnoty vodorovných posunů u_y s vlivem davu	46
Tabulka 13: Optimalizace	48
Tabulka 14: Tabulka deformací na nosném laně (před/po optimalizaci).....	49
Tabulka 15: Tabulka deformací na mostovce (před/po optimalizaci).....	50
Tabulka 16: Tabulka deformací od kombinací na nosném laně	51
Tabulka 17: Tabulka deformací od kombinací na mostovce	51

15 Seznam grafů

Graf 1: Vzepětí mostovky	16
Graf 2: Globální deformace nosného lana - ZS Vlastní tíha.....	38
Graf 3: Globální deformace mostovky - ZS Vlastní tíha.....	38
Graf 4: Globální deformace nosného lana - vliv oteplení.....	40
Graf 5: Globální deformace nosného lana - vliv ochlazení.....	40
Graf 6: Globální deformace mostovky - vliv oteplení.....	41
Graf 7: Globální deformace mostovky - vliv ochlazení.....	41
Graf 8: Globální deformace nosného lana - vliv větru	42
Graf 9: Globální deformace mostovky - vliv větru	42
Graf 10: Globální deformace nosného lana - vliv zatěžovacího stavu Chodci 1.....	43
Graf 11: Globální deformace mostovky - vliv zatěžovacího stavu Chodci 1.....	43
Graf 12: Závislost u_y na modelech – vliv ZS Chodci 1	44
Graf 13: Globální deformace nosného lana - vliv davu	45
Graf 14: Globální deformace mostovky - vliv davu	45
Graf 15: Závislost u_y na modelech - vliv davu.....	46
Graf 16: Globální deformace nosného lana - vliv servisního vozidla	47
Graf 17: Globální deformace mostovky - vliv servisního vozidla	47
Graf 18: Vliv ZS na globální deformace nosného lana (před/po optimalizaci).....	49
Graf 19: Vliv ZS na globální deformace mostovky (před/po optimalizaci).....	50
Graf 20: Globální deformace při jednotlivých kombinacích - nosné lano.....	52
Graf 21: Globální deformace při jednotlivých kombinacích – mostovka	52

16 Seznam příloh

Příloha č. 1 – předběžné výsledky ručního výpočtu – rovná mostovka

Příloha č. 2 – 6.iterace u rovné mostovky

Příloha č. 3 – předběžné výsledky ručního výpočtu – parabolická mostovka

Příloha č. 4 – 4.iterace u parabolické mostovky

Příloha č. 5 – Délky závěsů pro modelaci – rovná mostovka

Příloha č. 6 – Délky závěsů pro modelaci – parabolická mostovka

Příloha č. 7 – Vodorovné vzdálenosti horních uzlů závěsů pro modelaci

Příloha č. 1 – předběžné výsledky ručního výpočtu – rovná mostovka

n	z_i [m]	z_i' [m]	N_x [kN]	N_z [kN]	N [kN]	$tg(\varphi)$ [rad]	$tg(\varphi)$ [°]	l_i [m]	Δl_i [mm]
0	0,000	0,400	6057,62	2423,05	6524,25	0,38	21,80	2,040	0,504
2	0,787	0,387	6057,62	2342,28	6494,69	0,37	21,14	2,037	0,501
4	1,547	0,373	6057,62	2261,51	6466,00	0,36	20,47	2,035	0,499
6	2,280	0,360	6057,62	2180,74	6438,20	0,35	19,80	2,032	0,496
8	2,987	0,347	6057,62	2099,97	6411,29	0,33	19,12	2,030	0,493
10	3,667	0,333	6057,62	2019,21	6385,29	0,32	18,43	2,028	0,491
12	4,320	0,320	6057,62	1938,44	6360,21	0,31	17,74	2,025	0,488
14	4,947	0,307	6057,62	1857,67	6336,06	0,30	17,05	2,023	0,486
16	5,547	0,293	6057,62	1776,90	6312,85	0,29	16,35	2,021	0,484
18	6,120	0,280	6057,62	1696,13	6290,60	0,27	15,64	2,020	0,481
20	6,667	0,267	6057,62	1615,36	6269,30	0,26	14,93	2,018	0,479
22	7,187	0,253	6057,62	1534,60	6248,98	0,25	14,22	2,016	0,477
24	7,680	0,240	6057,62	1453,83	6229,64	0,24	13,50	2,014	0,476
26	8,147	0,227	6057,62	1373,06	6211,28	0,22	12,77	2,013	0,474
28	8,587	0,213	6057,62	1292,29	6193,93	0,21	12,04	2,011	0,472
30	9,000	0,200	6057,62	1211,52	6177,58	0,20	11,31	2,010	0,471
32	9,387	0,187	6057,62	1130,76	6162,25	0,18	10,57	2,009	0,469
34	9,747	0,173	6057,62	1049,99	6147,94	0,17	9,83	2,007	0,468
36	10,080	0,160	6057,62	969,22	6134,67	0,16	9,09	2,006	0,466
38	10,387	0,147	6057,62	888,45	6122,42	0,15	8,34	2,005	0,465
40	10,667	0,133	6057,62	807,68	6111,23	0,13	7,59	2,004	0,464
42	10,920	0,120	6057,62	726,91	6101,08	0,12	6,84	2,004	0,463
44	11,147	0,107	6057,62	646,15	6091,98	0,11	6,09	2,003	0,462
46	11,347	0,093	6057,62	565,38	6083,95	0,09	5,33	2,002	0,462
48	11,520	0,080	6057,62	484,61	6076,97	0,08	4,57	2,002	0,461
50	11,667	0,067	6057,62	403,84	6071,07	0,07	3,81	2,001	0,460
52	11,787	0,053	6057,62	323,07	6066,23	0,05	3,05	2,001	0,460
54	11,880	0,040	6057,62	242,30	6062,46	0,04	2,29	2,000	0,460
56	11,947	0,027	6057,62	161,54	6059,77	0,03	1,53	2,000	0,459
58	11,987	0,013	6057,62	80,77	6058,16	0,01	0,76	2,000	0,459
60	12,000	0,000	6057,62	0,00	6057,62	0,00	0,00	2,000	0,459
62	11,987	-0,013	6057,62	-80,77	6058,16	-0,01	-0,76	2,000	0,459
64	11,947	-0,027	6057,62	-161,54	6059,77	-0,03	-1,53	2,000	0,459
66	11,880	-0,040	6057,62	-242,30	6062,46	-0,04	-2,29	2,000	0,460
68	11,787	-0,053	6057,62	-323,07	6066,23	-0,05	-3,05	2,001	0,460
70	11,667	-0,067	6057,62	-403,84	6071,07	-0,07	-3,81	2,001	0,460
72	11,520	-0,080	6057,62	-484,61	6076,97	-0,08	-4,57	2,002	0,461
74	11,347	-0,093	6057,62	-565,38	6083,95	-0,09	-5,33	2,002	0,462
76	11,147	-0,107	6057,62	-646,15	6091,98	-0,11	-6,09	2,003	0,462
78	10,920	-0,120	6057,62	-726,91	6101,08	-0,12	-6,84	2,004	0,463
80	10,667	-0,133	6057,62	-807,68	6111,23	-0,13	-7,59	2,004	0,464

82	10,387	-0,147	6057,62	-888,45	6122,42	-0,15	-8,34	2,005	0,465
84	10,080	-0,160	6057,62	-969,22	6134,67	-0,16	-9,09	2,006	0,466
86	9,747	-0,173	6057,62	-1049,99	6147,94	-0,17	-9,83	2,007	0,468
88	9,387	-0,187	6057,62	-1130,76	6162,25	-0,18	-10,57	2,009	0,469
90	9,000	-0,200	6057,62	-1211,52	6177,58	-0,20	-11,31	2,010	0,471
92	8,587	-0,213	6057,62	-1292,29	6193,93	-0,21	-12,04	2,011	0,472
94	8,147	-0,227	6057,62	-1373,06	6211,28	-0,22	-12,77	2,013	0,474
96	7,680	-0,240	6057,62	-1453,83	6229,64	-0,24	-13,50	2,014	0,476
98	7,187	-0,253	6057,62	-1534,60	6248,98	-0,25	-14,22	2,016	0,477
100	6,667	-0,267	6057,62	-1615,36	6269,30	-0,26	-14,93	2,018	0,479
102	6,120	-0,280	6057,62	-1696,13	6290,60	-0,27	-15,64	2,020	0,481
104	5,547	-0,293	6057,62	-1776,90	6312,85	-0,29	-16,35	2,021	0,484
106	4,947	-0,307	6057,62	-1857,67	6336,06	-0,30	-17,05	2,023	0,486
108	4,320	-0,320	6057,62	-1938,44	6360,21	-0,31	-17,74	2,025	0,488
110	3,667	-0,333	6057,62	-2019,21	6385,29	-0,32	-18,43	2,028	0,491
112	2,987	-0,347	6057,62	-2099,97	6411,29	-0,33	-19,12	2,030	0,493
114	2,280	-0,360	6057,62	-2180,74	6438,20	-0,35	-19,80	2,032	0,496
116	1,547	-0,373	6057,62	-2261,51	6466,00	-0,36	-20,47	2,035	0,499
118	0,787	-0,387	6057,62	-2342,28	6494,69	-0,37	-21,14	2,037	0,501
120	0,000	-0,400	6057,62	-2423,05	6524,25	-0,38	-21,80	2,040	0,504
Σ								122,835	28,959
								I_0	122,835
								$I_{k,1}$	122,835
								$\Delta I_{k,1}$	28,959

Příloha č. 2 – 6.iterace u rovné mostovky

x [m]	z [m]	z' [m]	N _x [kN]	N _z [kN]	N [kN]	φ [rad]	φ [°]	l _i [m]	Δl _i [mm]
0	0,000	0,3929	6155,02	2418,10	6612,97	0,37	21,45	2,038	0,511
2	0,773	0,3798	6155,02	2337,50	6583,93	0,36	20,80	2,036	0,508
4	1,519	0,3667	6155,02	2256,89	6555,74	0,35	20,14	2,033	0,505
6	2,239	0,3536	6155,02	2176,29	6528,43	0,34	19,47	2,031	0,502
8	2,933	0,3405	6155,02	2095,69	6502,01	0,33	18,80	2,029	0,500
10	3,601	0,3274	6155,02	2015,08	6476,48	0,32	18,13	2,027	0,497
12	4,243	0,3143	6155,02	1934,48	6451,85	0,30	17,45	2,025	0,495
14	4,858	0,3012	6155,02	1853,88	6428,15	0,29	16,76	2,023	0,493
16	5,448	0,2881	6155,02	1773,27	6405,37	0,28	16,07	2,021	0,490
18	6,011	0,2750	6155,02	1692,67	6383,52	0,27	15,38	2,019	0,488
20	6,548	0,2619	6155,02	1612,07	6362,62	0,26	14,68	2,017	0,486
22	7,059	0,2488	6155,02	1531,46	6342,68	0,24	13,97	2,015	0,484
24	7,543	0,2357	6155,02	1450,86	6323,70	0,23	13,26	2,014	0,483
26	8,001	0,2226	6155,02	1370,26	6305,70	0,22	12,55	2,012	0,481
28	8,434	0,2095	6155,02	1289,65	6288,67	0,21	11,83	2,011	0,479
30	8,840	0,1964	6155,02	1209,05	6272,64	0,19	11,11	2,010	0,478
32	9,219	0,1833	6155,02	1128,45	6257,60	0,18	10,39	2,008	0,476
34	9,573	0,1702	6155,02	1047,84	6243,57	0,17	9,66	2,007	0,475
36	9,900	0,1571	6155,02	967,24	6230,55	0,16	8,93	2,006	0,474
38	10,201	0,1441	6155,02	886,64	6218,55	0,14	8,20	2,005	0,473
40	10,476	0,1310	6155,02	806,03	6207,57	0,13	7,46	2,004	0,471
42	10,725	0,1179	6155,02	725,43	6197,62	0,12	6,72	2,003	0,471
44	10,948	0,1048	6155,02	644,83	6188,70	0,10	5,98	2,003	0,470
46	11,144	0,0917	6155,02	564,22	6180,82	0,09	5,24	2,002	0,469
48	11,315	0,0786	6155,02	483,62	6173,99	0,08	4,49	2,002	0,468
50	11,459	0,0655	6155,02	403,02	6168,20	0,07	3,75	2,001	0,468
52	11,576	0,0524	6155,02	322,41	6163,45	0,05	3,00	2,001	0,467
54	11,668	0,0393	6155,02	241,81	6159,76	0,04	2,25	2,000	0,467
56	11,734	0,0262	6155,02	161,21	6157,13	0,03	1,50	2,000	0,467
58	11,773	0,0131	6155,02	80,60	6155,54	0,01	0,75	2,000	0,467
60	11,786	0,0000	6155,02	0,00	6155,02	0,00	0,00	2,000	0,466
62	11,773	-0,0131	6155,02	-80,60	6155,54	-0,01	-0,75	2,000	0,467
64	11,734	-0,0262	6155,02	-161,21	6157,13	-0,03	-1,50	2,000	0,467
66	11,668	-0,0393	6155,02	-241,81	6159,76	-0,04	-2,25	2,000	0,467
68	11,576	-0,0524	6155,02	-322,41	6163,45	-0,05	-3,00	2,001	0,467
70	11,459	-0,0655	6155,02	-403,02	6168,20	-0,07	-3,75	2,001	0,468
72	11,315	-0,0786	6155,02	-483,62	6173,99	-0,08	-4,49	2,002	0,468
74	11,144	-0,0917	6155,02	-564,22	6180,82	-0,09	-5,24	2,002	0,469
76	10,948	-0,1048	6155,02	-644,83	6188,70	-0,10	-5,98	2,003	0,470
78	10,725	-0,1179	6155,02	-725,43	6197,62	-0,12	-6,72	2,003	0,471
80	10,476	-0,1310	6155,02	-806,03	6207,57	-0,13	-7,46	2,004	0,471

82	10,201	-0,1441	6155,02	-886,64	6218,55	-0,14	-8,20	2,005	0,473
84	9,900	-0,1571	6155,02	-967,24	6230,55	-0,16	-8,93	2,006	0,474
86	9,573	-0,1702	6155,02	-1047,84	6243,57	-0,17	-9,66	2,007	0,475
88	9,219	-0,1833	6155,02	-1128,45	6257,60	-0,18	-10,39	2,008	0,476
90	8,840	-0,1964	6155,02	-1209,05	6272,64	-0,19	-11,11	2,010	0,478
92	8,434	-0,2095	6155,02	-1289,65	6288,67	-0,21	-11,83	2,011	0,479
94	8,001	-0,2226	6155,02	-1370,26	6305,70	-0,22	-12,55	2,012	0,481
96	7,543	-0,2357	6155,02	-1450,86	6323,70	-0,23	-13,26	2,014	0,483
98	7,059	-0,2488	6155,02	-1531,46	6342,68	-0,24	-13,97	2,015	0,484
100	6,548	-0,2619	6155,02	-1612,07	6362,62	-0,26	-14,68	2,017	0,486
102	6,011	-0,2750	6155,02	-1692,67	6383,52	-0,27	-15,38	2,019	0,488
104	5,448	-0,2881	6155,02	-1773,27	6405,37	-0,28	-16,07	2,021	0,490
106	4,858	-0,3012	6155,02	-1853,88	6428,15	-0,29	-16,76	2,023	0,493
108	4,243	-0,3143	6155,02	-1934,48	6451,85	-0,30	-17,45	2,025	0,495
110	3,601	-0,3274	6155,02	-2015,08	6476,48	-0,32	-18,13	2,027	0,497
112	2,933	-0,3405	6155,02	-2095,69	6502,01	-0,33	-18,80	2,029	0,500
114	2,239	-0,3536	6155,02	-2176,29	6528,43	-0,34	-19,47	2,031	0,502
116	1,519	-0,3667	6155,02	-2256,89	6555,74	-0,35	-20,14	2,033	0,505
118	0,773	-0,3798	6155,02	-2337,50	6583,93	-0,36	-20,80	2,036	0,508
120	0,000	-0,3929	6155,02	-2418,10	6612,97	-0,37	-21,45	2,038	0,511
								122,8060	29,3910

Příloha č. 3 – předběžné výsledky ručního výpočtu – parabolická mostovka

x [m]	z [m]	z' [m]	N _x [kN]	N _z [kN]	N [kN]	φ [rad]	φ [°]	l _i [m]	Δl _i [mm]
0	0,000	0,400	5934,22	2373,69	6391,35	0,38	21,80	2,040	0,494
2	0,787	0,387	5934,22	2294,57	6362,39	0,37	21,14	2,037	0,491
4	1,547	0,373	5934,22	2215,44	6334,29	0,36	20,47	2,035	0,488
6	2,280	0,360	5934,22	2136,32	6307,05	0,35	19,80	2,032	0,486
8	2,987	0,347	5934,22	2057,20	6280,69	0,33	19,12	2,030	0,483
10	3,667	0,333	5934,22	1978,07	6255,22	0,32	18,43	2,028	0,481
12	4,320	0,320	5934,22	1898,95	6230,65	0,31	17,74	2,025	0,478
14	4,947	0,307	5934,22	1819,83	6206,99	0,30	17,05	2,023	0,476
16	5,547	0,293	5934,22	1740,71	6184,26	0,29	16,35	2,021	0,474
18	6,120	0,280	5934,22	1661,58	6162,45	0,27	15,64	2,020	0,472
20	6,667	0,267	5934,22	1582,46	6141,59	0,26	14,93	2,018	0,470
22	7,187	0,253	5934,22	1503,34	6121,68	0,25	14,22	2,016	0,468
24	7,680	0,240	5934,22	1424,21	6102,73	0,24	13,50	2,014	0,466
26	8,147	0,227	5934,22	1345,09	6084,76	0,22	12,77	2,013	0,464
28	8,587	0,213	5934,22	1265,97	6067,76	0,21	12,04	2,011	0,462
30	9,000	0,200	5934,22	1186,84	6051,74	0,20	11,31	2,010	0,461
32	9,387	0,187	5934,22	1107,72	6036,72	0,18	10,57	2,009	0,460
34	9,747	0,173	5934,22	1028,60	6022,71	0,17	9,83	2,007	0,458
36	10,080	0,160	5934,22	949,48	6009,70	0,16	9,09	2,006	0,457
38	10,387	0,147	5934,22	870,35	5997,71	0,15	8,34	2,005	0,456
40	10,667	0,133	5934,22	791,23	5986,74	0,13	7,59	2,004	0,455
42	10,920	0,120	5934,22	712,11	5976,80	0,12	6,84	2,004	0,454
44	11,147	0,107	5934,22	632,98	5967,89	0,11	6,09	2,003	0,453
46	11,347	0,093	5934,22	553,86	5960,01	0,09	5,33	2,002	0,452
48	11,520	0,080	5934,22	474,74	5953,18	0,08	4,57	2,002	0,452
50	11,667	0,067	5934,22	395,61	5947,39	0,07	3,81	2,001	0,451
52	11,787	0,053	5934,22	316,49	5942,66	0,05	3,05	2,001	0,451
54	11,880	0,040	5934,22	237,37	5938,97	0,04	2,29	2,000	0,450
56	11,947	0,027	5934,22	158,25	5936,33	0,03	1,53	2,000	0,450
58	11,987	0,013	5934,22	79,12	5934,75	0,01	0,76	2,000	0,450
60	12,000	0,000	5934,22	0,00	5934,22	0,00	0,00	2,000	0,450
62	11,987	-0,013	5934,22	-79,12	5934,75	-0,01	-0,76	2,000	0,450
64	11,947	-0,027	5934,22	-158,25	5936,33	-0,03	-1,53	2,000	0,450
66	11,880	-0,040	5934,22	-237,37	5938,97	-0,04	-2,29	2,000	0,450
68	11,787	-0,053	5934,22	-316,49	5942,66	-0,05	-3,05	2,001	0,451
70	11,667	-0,067	5934,22	-395,61	5947,39	-0,07	-3,81	2,001	0,451
72	11,520	-0,080	5934,22	-474,74	5953,18	-0,08	-4,57	2,002	0,452
74	11,347	-0,093	5934,22	-553,86	5960,01	-0,09	-5,33	2,002	0,452
76	11,147	-0,107	5934,22	-632,98	5967,89	-0,11	-6,09	2,003	0,453
78	10,920	-0,120	5934,22	-712,11	5976,80	-0,12	-6,84	2,004	0,454

80	10,667	-0,133	5934,22	-791,23	5986,74	-0,13	-7,59	2,004	0,455
82	10,387	-0,147	5934,22	-870,35	5997,71	-0,15	-8,34	2,005	0,456
84	10,080	-0,160	5934,22	-949,48	6009,70	-0,16	-9,09	2,006	0,457
86	9,747	-0,173	5934,22	-1028,60	6022,71	-0,17	-9,83	2,007	0,458
88	9,387	-0,187	5934,22	-1107,72	6036,72	-0,18	-10,57	2,009	0,460
90	9,000	-0,200	5934,22	-1186,84	6051,74	-0,20	-11,31	2,010	0,461
92	8,587	-0,213	5934,22	-1265,97	6067,76	-0,21	-12,04	2,011	0,462
94	8,147	-0,227	5934,22	-1345,09	6084,76	-0,22	-12,77	2,013	0,464
96	7,680	-0,240	5934,22	-1424,21	6102,73	-0,24	-13,50	2,014	0,466
98	7,187	-0,253	5934,22	-1503,34	6121,68	-0,25	-14,22	2,016	0,468
100	6,667	-0,267	5934,22	-1582,46	6141,59	-0,26	-14,93	2,018	0,470
102	6,120	-0,280	5934,22	-1661,58	6162,45	-0,27	-15,64	2,020	0,472
104	5,547	-0,293	5934,22	-1740,71	6184,26	-0,29	-16,35	2,021	0,474
106	4,947	-0,307	5934,22	-1819,83	6206,99	-0,30	-17,05	2,023	0,476
108	4,320	-0,320	5934,22	-1898,95	6230,65	-0,31	-17,74	2,025	0,478
110	3,667	-0,333	5934,22	-1978,07	6255,22	-0,32	-18,43	2,028	0,481
112	2,987	-0,347	5934,22	-2057,20	6280,69	-0,33	-19,12	2,030	0,483
114	2,280	-0,360	5934,22	-2136,32	6307,05	-0,35	-19,80	2,032	0,486
116	1,547	-0,373	5934,22	-2215,44	6334,29	-0,36	-20,47	2,035	0,488
118	0,787	-0,387	5934,22	-2294,57	6362,39	-0,37	-21,14	2,037	0,491
120	0,000	-0,400	5934,22	-2373,69	6391,35	-0,38	-21,80	2,040	0,494
Σ								122,835	28,369
								I_0	122,835
								$I_{k,1}$	122,835
								$\Delta I_{k,1}$	28,369

Příloha č. 4 – 4.iterace u parabolické mostovky

x [m]	z [m]	z' [m]	N _x [kN]	N _z [kN]	N [kN]	φ [rad]	φ [°]	l _i [m]	Δl _i [mm]
0	0,000	0,3930	6027,15	2368,67	6475,89	0,37	21,45	2,038	0,500
2	0,773	0,3799	6027,15	2289,71	6447,43	0,36	20,80	2,036	0,497
4	1,520	0,3668	6027,15	2210,76	6419,81	0,35	20,14	2,033	0,495
6	2,240	0,3537	6027,15	2131,80	6393,05	0,34	19,48	2,031	0,492
8	2,934	0,3406	6027,15	2052,85	6367,16	0,33	18,81	2,029	0,490
10	3,603	0,3275	6027,15	1973,89	6342,14	0,32	18,13	2,027	0,487
12	4,244	0,3144	6027,15	1894,94	6318,02	0,30	17,45	2,025	0,485
14	4,860	0,3013	6027,15	1815,98	6294,78	0,29	16,77	2,023	0,482
16	5,450	0,2882	6027,15	1737,02	6272,46	0,28	16,08	2,021	0,480
18	6,013	0,2751	6027,15	1658,07	6251,06	0,27	15,38	2,019	0,478
20	6,550	0,2620	6027,15	1579,11	6230,58	0,26	14,68	2,017	0,476
22	7,061	0,2489	6027,15	1500,16	6211,04	0,24	13,98	2,015	0,474
24	7,546	0,2358	6027,15	1421,20	6192,44	0,23	13,27	2,014	0,473
26	8,004	0,2227	6027,15	1342,25	6174,80	0,22	12,55	2,012	0,471
28	8,436	0,2096	6027,15	1263,29	6158,12	0,21	11,84	2,011	0,469
30	8,843	0,1965	6027,15	1184,33	6142,41	0,19	11,12	2,010	0,468
32	9,222	0,1834	6027,15	1105,38	6127,67	0,18	10,39	2,008	0,466
34	9,576	0,1703	6027,15	1026,42	6113,92	0,17	9,66	2,007	0,465
36	9,904	0,1572	6027,15	947,47	6101,17	0,16	8,93	2,006	0,464
38	10,205	0,1441	6027,15	868,51	6089,40	0,14	8,20	2,005	0,463
40	10,480	0,1310	6027,15	789,56	6078,65	0,13	7,46	2,004	0,462
42	10,729	0,1179	6027,15	710,60	6068,89	0,12	6,72	2,003	0,461
44	10,952	0,1048	6027,15	631,65	6060,16	0,10	5,98	2,003	0,460
46	11,148	0,0917	6027,15	552,69	6052,44	0,09	5,24	2,002	0,459
48	11,318	0,0786	6027,15	473,73	6045,74	0,08	4,49	2,002	0,459
50	11,463	0,0655	6027,15	394,78	6040,06	0,07	3,75	2,001	0,458
52	11,580	0,0524	6027,15	315,82	6035,42	0,05	3,00	2,001	0,458
54	11,672	0,0393	6027,15	236,87	6031,80	0,04	2,25	2,000	0,457
56	11,738	0,0262	6027,15	157,91	6029,22	0,03	1,50	2,000	0,457
58	11,777	0,0131	6027,15	78,96	6027,67	0,01	0,75	2,000	0,457
60	11,790	0,0000	6027,15	0,00	6027,15	0,00	0,00	2,000	0,457
62	11,777	-0,0131	6027,15	-78,96	6027,67	-0,01	-0,75	2,000	0,457
64	11,738	-0,0262	6027,15	-157,91	6029,22	-0,03	-1,50	2,000	0,457
66	11,672	-0,0393	6027,15	-236,87	6031,80	-0,04	-2,25	2,000	0,457
68	11,580	-0,0524	6027,15	-315,82	6035,42	-0,05	-3,00	2,001	0,458
70	11,463	-0,0655	6027,15	-394,78	6040,06	-0,07	-3,75	2,001	0,458
72	11,318	-0,0786	6027,15	-473,73	6045,74	-0,08	-4,49	2,002	0,459
74	11,148	-0,0917	6027,15	-552,69	6052,44	-0,09	-5,24	2,002	0,459
76	10,952	-0,1048	6027,15	-631,65	6060,16	-0,10	-5,98	2,003	0,460
78	10,729	-0,1179	6027,15	-710,60	6068,89	-0,12	-6,72	2,003	0,461
80	10,480	-0,1310	6027,15	-789,56	6078,65	-0,13	-7,46	2,004	0,462

82	10,205	-0,1441	6027,15	-868,51	6089,40	-0,14	-8,20	2,005	0,463
84	9,904	-0,1572	6027,15	-947,47	6101,17	-0,16	-8,93	2,006	0,464
86	9,576	-0,1703	6027,15	-1026,42	6113,92	-0,17	-9,66	2,007	0,465
88	9,222	-0,1834	6027,15	-1105,38	6127,67	-0,18	-10,39	2,008	0,466
90	8,843	-0,1965	6027,15	-1184,33	6142,41	-0,19	-11,12	2,010	0,468
92	8,436	-0,2096	6027,15	-1263,29	6158,12	-0,21	-11,84	2,011	0,469
94	8,004	-0,2227	6027,15	-1342,25	6174,80	-0,22	-12,55	2,012	0,471
96	7,546	-0,2358	6027,15	-1421,20	6192,44	-0,23	-13,27	2,014	0,473
98	7,061	-0,2489	6027,15	-1500,16	6211,04	-0,24	-13,98	2,015	0,474
100	6,550	-0,2620	6027,15	-1579,11	6230,58	-0,26	-14,68	2,017	0,476
102	6,013	-0,2751	6027,15	-1658,07	6251,06	-0,27	-15,38	2,019	0,478
104	5,450	-0,2882	6027,15	-1737,02	6272,46	-0,28	-16,08	2,021	0,480
106	4,860	-0,3013	6027,15	-1815,98	6294,78	-0,29	-16,77	2,023	0,482
108	4,244	-0,3144	6027,15	-1894,94	6318,02	-0,30	-17,45	2,025	0,485
110	3,603	-0,3275	6027,15	-1973,89	6342,14	-0,32	-18,13	2,027	0,487
112	2,934	-0,3406	6027,15	-2052,85	6367,16	-0,33	-18,81	2,029	0,490
114	2,240	-0,3537	6027,15	-2131,80	6393,05	-0,34	-19,48	2,031	0,492
116	1,520	-0,3668	6027,15	-2210,76	6419,81	-0,35	-20,14	2,033	0,495
118	0,773	-0,3799	6027,15	-2289,71	6447,43	-0,36	-20,80	2,036	0,497
120	0,000	-0,3930	6027,15	-2368,67	6475,89	-0,37	-21,45	2,038	0,500
								122,8065	28,7811

Příloha č. 5 – Délky závěsů pro modelaci – rovná mostovka

$x_0 =$	0	$y_0 =$	0
$x =$	60	$y =$	11,786

$k =$	0,003273889
-------	-------------

Lano		Rovná mostovka		
x [m]	Vzepětí lana [m]	Délka závěsu po úroveň vrcholu [m]	Celková délka závěsu [m]	Součet délek [m]
0	0,000	11,786	15,186	15,186
2	-0,773	11,013	14,413	14,413
4	-1,519	10,267	13,667	13,667
6	-2,239	9,547	12,947	12,947
8	-2,933	8,853	12,253	12,253
10	-3,601	8,185	11,585	11,585
12	-4,243	7,543	10,943	10,943
14	-4,858	6,928	10,328	10,328
16	-5,448	6,338	9,738	9,738
18	-6,011	5,775	9,175	9,175
20	-6,548	5,238	8,638	8,638
22	-7,059	4,727	8,127	8,127
24	-7,543	4,243	7,643	7,643
26	-8,001	3,785	7,185	7,185
28	-8,434	3,352	6,752	6,752
30	-8,840	2,947	6,347	6,347
32	-9,219	2,567	5,967	5,967
34	-9,573	2,213	5,613	5,613
36	-9,900	1,886	5,286	5,286
38	-10,201	1,585	4,985	4,985
40	-10,476	1,310	4,710	4,710
42	-10,725	1,061	4,461	4,461
44	-10,948	0,838	4,238	4,238
46	-11,144	0,642	4,042	4,042
48	-11,315	0,471	3,871	3,871
50	-11,459	0,327	3,727	3,727
52	-11,576	0,210	3,610	3,610
54	-11,668	0,118	3,518	3,518
56	-11,734	0,052	3,452	3,452

58	-11,773	0,013	3,413	3,413
60	-11,786	0,000	3,400	3,400
62	-11,773	0,013	3,413	3,413
64	-11,734	0,052	3,452	3,452
66	-11,668	0,118	3,518	3,518
68	-11,576	0,210	3,610	3,610
70	-11,459	0,327	3,727	3,727
72	-11,315	0,471	3,871	3,871
74	-11,144	0,642	4,042	4,042
76	-10,948	0,838	4,238	4,238
78	-10,725	1,061	4,461	4,461
80	-10,476	1,310	4,710	4,710
82	-10,201	1,585	4,985	4,985
84	-9,900	1,886	5,286	5,286
86	-9,573	2,213	5,613	5,613
88	-9,219	2,567	5,967	5,967
90	-8,840	2,947	6,347	6,347
92	-8,434	3,352	6,752	6,752
94	-8,001	3,785	7,185	7,185
96	-7,543	4,243	7,643	7,643
98	-7,059	4,727	8,127	8,127
100	-6,548	5,238	8,638	8,638
102	-6,011	5,775	9,175	9,175
104	-5,448	6,338	9,738	9,738
106	-4,858	6,928	10,328	10,328
108	-4,243	7,543	10,943	10,943
110	-3,601	8,185	11,585	11,585
112	-2,933	8,853	12,253	12,253
114	-2,239	9,547	12,947	12,947
116	-1,519	10,267	13,667	13,667
118	-0,773	11,013	14,413	14,413
120	0,000	11,786	15,186	0,000

Délka všech závěsů:	439,851
Průměrná délka:	7,455

Příloha č. 6 – Délky závěsů pro modelaci – parabolická mostovka

0	0	$y_0 =$	0
x =	60	y =	11,790

k =	0,00328
-----	---------

Lano		Rovná mostovka			Zakřivená mostovka		
x [m]	Vzepětí lana [m]	Délka závěsu po úroveň vrcholu [m]	Celková délka závěsu [m]	Součet délek [m]	Délka závěsů u rovné mostovky [m]	Vzepětí mostovky [m]	Finální délka závěsu [m]
0	0,000	11,790	15,190	15,190	15,190	-0,200	15,190
2	-0,773	11,017	14,417	14,417	14,417	-0,134	14,352
4	-1,520	10,270	13,670	13,670	13,670	-0,071	13,542
6	-2,240	9,550	12,950	12,950	12,950	-0,010	12,760
8	-2,934	8,856	12,256	12,256	12,256	0,049	12,007
10	-3,603	8,188	11,588	11,588	11,588	0,106	11,282
12	-4,244	7,546	10,946	10,946	10,946	0,160	10,586
14	-4,860	6,930	10,330	10,330	10,330	0,212	9,918
16	-5,450	6,340	9,740	9,740	9,740	0,262	9,278
18	-6,013	5,777	9,177	9,177	9,177	0,310	8,667
20	-6,550	5,240	8,640	8,640	8,640	0,356	8,084
22	-7,061	4,729	8,129	8,129	8,129	0,399	7,530
24	-7,546	4,244	7,644	7,644	7,644	0,440	7,004
26	-8,004	3,786	7,186	7,186	7,186	0,479	6,507
28	-8,436	3,354	6,754	6,754	6,754	0,516	6,038
30	-8,843	2,948	6,348	6,348	6,348	0,550	5,598
32	-9,222	2,568	5,968	5,968	5,968	0,582	5,185
34	-9,576	2,214	5,614	5,614	5,614	0,612	4,802
36	-9,904	1,886	5,286	5,286	5,286	0,640	4,446
38	-10,205	1,585	4,985	4,985	4,985	0,666	4,120
40	-10,480	1,310	4,710	4,710	4,710	0,689	3,821
42	-10,729	1,061	4,461	4,461	4,461	0,710	3,551
44	-10,952	0,838	4,238	4,238	4,238	0,729	3,310
46	-11,148	0,642	4,042	4,042	4,042	0,746	3,096
48	-11,318	0,472	3,872	3,872	3,872	0,760	2,912
50	-11,463	0,328	3,728	3,728	3,728	0,772	2,755
52	-11,580	0,210	3,610	3,610	3,610	0,782	2,627

54	-11,672	0,118	3,518	3,518	3,518	0,790	2,528
56	-11,738	0,052	3,452	3,452	3,452	0,796	2,457
58	-11,777	0,013	3,413	3,413	3,413	0,799	2,414
60	-11,790	0,000	3,400	3,400	3,400	0,800	2,400
62	-11,777	0,013	3,413	3,413	3,413	0,799	2,414
64	-11,738	0,052	3,452	3,452	3,452	0,796	2,457
66	-11,672	0,118	3,518	3,518	3,518	0,790	2,528
68	-11,580	0,210	3,610	3,610	3,610	0,782	2,627
70	-11,463	0,328	3,728	3,728	3,728	0,772	2,755
72	-11,318	0,472	3,872	3,872	3,872	0,760	2,912
74	-11,148	0,642	4,042	4,042	4,042	0,746	3,096
76	-10,952	0,838	4,238	4,238	4,238	0,729	3,310
78	-10,729	1,061	4,461	4,461	4,461	0,710	3,551
80	-10,480	1,310	4,710	4,710	4,710	0,689	3,821
82	-10,205	1,585	4,985	4,985	4,985	0,666	4,120
84	-9,904	1,886	5,286	5,286	5,286	0,640	4,446
86	-9,576	2,214	5,614	5,614	5,614	0,612	4,802
88	-9,222	2,568	5,968	5,968	5,968	0,582	5,185
90	-8,843	2,948	6,348	6,348	6,348	0,550	5,598
92	-8,436	3,354	6,754	6,754	6,754	0,516	6,038
94	-8,004	3,786	7,186	7,186	7,186	0,479	6,507
96	-7,546	4,244	7,644	7,644	7,644	0,440	7,004
98	-7,061	4,729	8,129	8,129	8,129	0,399	7,530
100	-6,550	5,240	8,640	8,640	8,640	0,356	8,084
102	-6,013	5,777	9,177	9,177	9,177	0,310	8,667
104	-5,450	6,340	9,740	9,740	9,740	0,262	9,278
106	-4,860	6,930	10,330	10,330	10,330	0,212	9,918
108	-4,244	7,546	10,946	10,946	10,946	0,160	10,586
110	-3,603	8,188	11,588	11,588	11,588	0,106	11,282
112	-2,934	8,856	12,256	12,256	12,256	0,049	12,007
114	-2,240	9,550	12,950	12,950	12,950	-0,010	12,760
116	-1,520	10,270	13,670	13,670	13,670	-0,071	13,542
118	-0,773	11,017	14,417	14,417	14,417	-0,134	14,352
120	0,000	11,790	15,190	0,000	15,190	-0,200	0,000

Délka všech závěsů:	439,931
Průměrná délka:	7,456

Délka všech závěsů:	384,752
Průměrná délka:	6,521

Příloha č. 7 – Vodorovné vzdálenosti horních uzlů závěsů pro modelaci

ROVNÁ MOSTOVKA					
10	°	20	°	30	°
0,174532925	rad	0,34906585	rad	0,523599	rad
Celková délka závěsu [m]	Vodorovná délka [m]	Celková délka závěsu [m]	Vodorovná délka [m]	Celková délka závěsu [m]	Vodorovná délka [m]
15,186	2,678	15,186	5,527	15,186	8,768
14,413	2,541	14,413	5,246	14,413	8,322
13,667	2,410	13,667	4,974	13,667	7,891
12,947	2,283	12,947	4,712	12,947	7,475
12,253	2,160	12,253	4,460	12,253	7,074
11,585	2,043	11,585	4,216	11,585	6,688
10,943	1,930	10,943	3,983	10,943	6,318
10,328	1,821	10,328	3,759	10,328	5,963
9,738	1,717	9,738	3,544	9,738	5,622
9,175	1,618	9,175	3,339	9,175	5,297
8,638	1,523	8,638	3,144	8,638	4,987
8,127	1,433	8,127	2,958	8,127	4,692
7,643	1,348	7,643	2,782	7,643	4,413
7,185	1,267	7,185	2,615	7,185	4,148
6,752	1,191	6,752	2,458	6,752	3,899
6,347	1,119	6,347	2,310	6,347	3,664
5,967	1,052	5,967	2,172	5,967	3,445
5,613	0,990	5,613	2,043	5,613	3,241
5,286	0,932	5,286	1,924	5,286	3,052
4,985	0,879	4,985	1,814	4,985	2,878
4,710	0,830	4,710	1,714	4,710	2,719
4,461	0,787	4,461	1,624	4,461	2,575
4,238	0,747	4,238	1,543	4,238	2,447
4,042	0,713	4,042	1,471	4,042	2,333
3,871	0,683	3,871	1,409	3,871	2,235
3,727	0,657	3,727	1,357	3,727	2,152
3,610	0,636	3,610	1,314	3,610	2,084
3,518	0,620	3,518	1,280	3,518	2,031
3,452	0,609	3,452	1,257	3,452	1,993
3,413	0,602	3,413	1,242	3,413	1,971
3,400	0,600	3,400	1,237	3,400	1,963
3,413	0,602	3,413	1,242	3,413	1,971
3,452	0,609	3,452	1,257	3,452	1,993
3,518	0,620	3,518	1,280	3,518	2,031
3,610	0,636	3,610	1,314	3,610	2,084
3,727	0,657	3,727	1,357	3,727	2,152

3,871	0,683	3,871	1,409	3,871	2,235
4,042	0,713	4,042	1,471	4,042	2,333
4,238	0,747	4,238	1,543	4,238	2,447
4,461	0,787	4,461	1,624	4,461	2,575
4,710	0,830	4,710	1,714	4,710	2,719
4,985	0,879	4,985	1,814	4,985	2,878
5,286	0,932	5,286	1,924	5,286	3,052
5,613	0,990	5,613	2,043	5,613	3,241
5,967	1,052	5,967	2,172	5,967	3,445
6,347	1,119	6,347	2,310	6,347	3,664
6,752	1,191	6,752	2,458	6,752	3,899
7,185	1,267	7,185	2,615	7,185	4,148
7,643	1,348	7,643	2,782	7,643	4,413
8,127	1,433	8,127	2,958	8,127	4,692
8,638	1,523	8,638	3,144	8,638	4,987
9,175	1,618	9,175	3,339	9,175	5,297
9,738	1,717	9,738	3,544	9,738	5,622
10,328	1,821	10,328	3,759	10,328	5,963
10,943	1,930	10,943	3,983	10,943	6,318
11,585	2,043	11,585	4,216	11,585	6,688
12,253	2,160	12,253	4,460	12,253	7,074
12,947	2,283	12,947	4,712	12,947	7,475
13,667	2,410	13,667	4,974	13,667	7,891
14,413	2,541	14,413	5,246	14,413	8,322
15,186	2,678	15,186	5,527	15,186	8,768